

**PLANOS TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS DE UNA CAJA REDUCTORA DE
VELOCIDADES**

**DANILO PÉREZ HENAO
CÓDIGO: 1088272502**

**JHONY ANDRES GARCIA CHAVES
CÓDIGO: 1114210437**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
ENERO 2019**

**PLANOS TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS DE UNA CAJA REDUCTORA DE
VELOCIDADES**

**DANILO PÉREZ HENAO
CÓDIGO: 1088272502**

**JHONY ANDRES GARCIA CHAVES
CÓDIGO: 1114210437**

TRABAJO DE GRADO

**M.S.c HÉCTOR AGUIRRE CORRALES
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
ENERO 2019**

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, enero del 2019

DEDICATORIA

Este logro se lo dedicamos a Dios por acompañarnos y permitirnos culminar este proceso de aprendizaje en la Universidad.

A nuestros padres quienes se esforzaron por sacarnos adelante. Porque tuvieron paciencia y fueron perseverantes. Porque nos dieron amor y nos apoyaron siempre. Nos sentimos muy orgullosos de ellos

AGRADECIMIENTOS

Nuestros sinceros agradecimientos quienes de manera voluntaria y generosa nos enseñaron, nos apoyaron y nos acompañaron para llevar a feliz término este periodo de estudio. Gracias por los conocimientos y valores que nos inculcaron. Queremos hacer una mención especial a los Ingenieros:

Héctor Aguirre quien nos dirigió y oriento a lo largo del proyecto.

Iván Yesid Moreno por las asesorías que nos brindó permanentemente

Carlos Alberio Romero por darnos ideas y facilitarnos elementos utilizados para desarrollar este proyecto

CONTENIDO

1. INTRODUCCION

2. TITULO

3. DEFINICION DEL PROBLEMA

- 3.1. Antecedentes del problema
- 3.2. Formulación del problema
- 3.3. Descripción

4. JUSTIFICACION

5. OBJETIVOS

- 5.1. Objetivos generales
- 5.2. Objetivos específicos

6. MARCO REFERENCIAL

- 6.1. Marco Histórico
- 6.2. Marco teórico
- 6.3. Marco tecnológico
- 6.4. Marco conceptual
- 6.5. Estado actual

7. DISEÑO METODOLOGICO

8. RECURSOS DISPONIBLES

- 8.1. Recursos materiales
- 8.2. Recursos institucionales
- 8.3. Recursos financieros

9. RESULTADO E IMPACTOS ESPERADOS

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11. BIBLIOGRAFIA

12. LISTA DE TABLAS

13. LISTA DE FIGURAS

14. ANEXOS

RESUMEN

Este documento describe los conceptos y el procedimiento usado para elaborar los planos tecnológicos de una caja reductora proporcionada por el laboratorio de máquinas de la Universidad Tecnológica de Pereira. Los planos se elaboraron tomando como referencia los datos obtenidos a partir de la medición de cada pieza; Los modelos y los dibujos detallados se elaboraron, mediante las herramientas de CAD. La presentación se realiza aplicando las normas técnicas correspondientes

El proceso de medición se realiza aplicando los criterios de Ingeniería inversa con el propósito de hacer el levantamiento de los planos tecnológicos del sistema

1. INTRODUCCIÓN

En la infinidad de aplicaciones que tienen y han tenido las múltiples cajas reductoras de velocidades a lo largo de la historia, se han conocido las funciones que tienen, pero no se sabe demasiado sobre los elementos que las componen.

Con el propósito de ayudar a ilustrar las características y la forma de los componentes de una caja reductora de velocidad; se tomó una que se tiene como muestra en el laboratorio de motores de la Universidad Tecnológica de Pereira.

En este caso se usa la Metrología como elemento esencial para para generar la información dimensional primaria de cada una de las partes del conjunto; posteriormente esta información dimensional es validada de acuerdo las características de los elementos estandarizados que aparecen en catálogos de fabricantes

A partir de las mediciones realizadas, se puede determinar los parámetros de ruedas y ejes dentados como: diámetros, módulos, ángulos de hélice, dimensiones de los dientes, etc. Los valores obtenidos a partir de las mediciones, son la referencia para seleccionar los valores estandarizados que aparecen en textos y catálogos y que se usan para realizar los cálculos en los procesos de diseño

Una vez definidos los valores estándar de los módulos, ángulos de hélice, etc. Se procede a dimensionar completamente las partes; luego, para este trabajo, se usó la herramienta CAD para dibujar las partes y generar los planos tecnológicos con las especificaciones necesarias que serán útiles para los procesos de manufactura de las partes

Los planos se presentan bajo normas ISO aplicando los criterios de tolerancias dimensionales, tolerancias geométricas y acabado superficial con el propósito de lograr planos para ser usados en los procesos de manufactura

2. TÍTULO

**PLANOS TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS DE UNA CAJA REDUCTORA DE
VELOCIDADES**

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1. Antecedentes problema

La Escuela de Tecnología Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira (**ETMUTP**) tiene en su laboratorio de motores, modelos de exhibición de cajas reductoras de velocidades, pero no se tiene información tecnológica de estas cajas reductoras tales como características y referencias de las partes; tampoco se tienen los planos con especificaciones necesarios para los procesos de producción

3.2. Formulación del problema

Se necesitan los planos tecnológicos, con todas las especificaciones, de cada una de las partes de una caja reductora de velocidad ya existente en el laboratorio. Estos planos son necesarios en el caso en que se necesite fabricar algunas de las partes. La producción de partes se debe hacer a partir de un dibujo o un plano en CAD con todas las especificaciones

3.3. Descripción

En algunas empresas se tienen máquinas y equipos que, aunque funcionan bien, no se tienen los planos con las especificaciones de los elementos; estos planos se necesitan cuando una de las partes debe ser fabricada ya sea para reemplazar una averiada o para tener piezas de repuestos

En la figura 3.1, se aprecia la fotografía de una caja reductora de velocidad ubicada en el laboratorio de la **ETMUTP**; pero no se tienen los planos de los elementos ni de la máquina. los planos, de esta máquina son necesarios para realizar alguna de las siguientes tareas: realizar el ensamble de los elementos, hacer labores de mantenimiento, hacer reparaciones en caso de averías; también se pueden usar, para construir las piezas que la componen si fuera necesario

Figura 3.1. Desmontaje de las ruedas



Fuente: El autor

4. JUSTIFICACIÓN

En algunas empresas se tienen equipos y maquinas en operación, pero no se tienen los planos de los mismos. En un momento dado, se necesitan los planos con la información para fabricación de alguno de los elementos. Este trabajo describe el procedimiento a realizar para ser aplicado en casos donde se hace necesario elaborar los planos de aquellas maquinas o equipos ya existentes que no tiene los planos

Como modelo para hacer una toma de medidas y la elaboración de planos tecnológicos de una maquina existente y sin planos, se utiliza la caja reductora de velocidad del laboratorio de la ETMUTP

Las cajas reductoras de velocidades, son muy utilizadas en la industria desde hace largo tiempo, ya que permiten transmitir y modificar velocidades mayores o menores, dependiendo del requerimiento o el trabajo que realice.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Dibujar en CAD los planos tecnológicos de una caja reductora de velocidades con todas las especificaciones necesarias para un proceso de producción

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.2.1 Realizar la medición de cada una de las partes y definir los valores estandarizados de los elementos
- 5.2.2 Usar el CAD para elaborar el dibujo de detalle de cada parte con sus dimensiones y especificaciones correspondientes
- 5.2.3 Aplicar tolerancias dimensionales, tolerancias geométricas y acabados superficiales
- 5.2.4 Establecer los aportes al conocimiento que se logró con este proyecto

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO HISTORICO

En esta misma facultad, se realizó un trabajo sobre Ingeniería inversa aplicado a un reductor de velocidad, tornillo sin fin corona [1]. En este caso se rediseñaron las ruedas dentadas y se elaboraron los dibujos correspondientes. No se consideró trabajar con la carcasa.

Luego una estudiante, de la misma facultad, retomó el ejercicio anterior y aplicó ingeniería inversa a la carcasa del reductor del ejemplo anterior. Se realizó el proceso completo de medición, dibujo y fabricación de la carcasa [2]

Estudiantes de la Universidad Politécnica de Valencia de España, diseñaron todos los componentes de un reductor de velocidad; dibujaron los planos, pero no incluyeron tolerancias geométricas [3]. En otro trabajo muy bien elaborado, según referencia [4], es posible observar que también faltan las tolerancias geométricas. En las dos últimas referencias es fácil comprobar que los elementos de las máquinas se diseñaron a partir de parámetros de entrada y salida de los reductores; En este trabajo se pretende dibujar los planos de una caja reductora existente que no tiene planos, por tanto, el punto de partida es aplicar el método de ingeniería inversa para determinar las dimensiones de todos los elementos

6.2 MARCO TEÓRICO

6.2.1. Ingeniería inversa

“La Ingeniería Inversa tiene como objetivo determinar las características y funciones de un proceso, sistema o componente para reproducirlo y, en lo posible, mejorarlo. Es una estrategia de ingeniería aplicada a la reproducción, copiado, sustitución de partes, diseño de nuevos productos, modificación de diseños, inspección industrial, documentación de diseños, desarrollo de información para la manufactura, entre otras” [1]

El método se denomina así porque avanza en dirección opuesta a las tareas habituales de ingeniería, que consisten en utilizar datos técnicos para elaborar un producto determinado. En general, si el producto u otro material que fue sometido a la ingeniería inversa fueron obtenidos en forma apropiada, entonces el proceso es legítimo y legal. Aplicar ingeniería inversa a algo supone profundizar en el estudio de su funcionamiento, hasta el punto de que se pueda llegar a entender, modificar y mejorar dicho modo de funcionamiento. La ingeniería inversa se puede aplicar a maquinaria industrial, sistemas de transporte, al software, a los microcontroladores, equipos electrónicos, etc.

La aplicación de ingeniería inversa nunca cambia la funcionalidad del producto objeto de la aplicación, sino que permite obtener productos que indican cómo se ha construido el mismo. Su realización permite obtener beneficios como:

- Comprender mejor el funcionamiento de algunos sistemas complejos
- A partir del ejercicio se puede optimizar las labores de mantenimiento de máquinas y equipos
- Adquirir ideas para mejorar los diseños que permitan lograr un funcionamiento más eficiente de los elementos
- Al intentar comprender un software se facilita su mantenimiento y la complejidad existente disminuye.
- Generar diferentes alternativas: del punto de partida del proceso, principalmente código fuente, se generan representaciones gráficas lo que facilita su comprensión
- Recuperar y/o actualizar la información perdida (cambios que no se documentaron en su momento): en la evolución del sistema se realizan cambios que no se suele actualizar en las representaciones de nivel de abstracción más alto, para lo cual se utiliza la recuperación de diseño.
- Detectar efectos laterales: los cambios que se puedan realizar en un sistema puede conducir a que surjan efectos no deseados, esta serie de anomalías puede ser detectados por la ingeniería inversa.
- Facilitar la reutilización: Se pueden detectar componentes de posible reutilización de sistemas existentes, pudiendo aumentar la productividad, reducir los costes y los riesgos de mantenimiento

6.2.2 Reductores de velocidad

Los principios que operan en las cajas reductoras son similares a los principios de operación de las cajas reductoras; por tal motivo se describe brevemente los reductores de velocidad.

Los motores son como el corazón del movimiento de la industria general. Pero ese corazón tiene diferentes ritmos y funciona a distintas velocidades, dependiendo del uso que se le quiera dar. Por eso los reductores de velocidad son indispensables para las pequeñas y grandes empresas. son apropiados para el accionamiento en máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente. Los reductores son diseñados a base de engranajes: mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de distintos tamaños dependiendo de la función que desempeñe cada motor. A continuación, se describen los tipos de reductores

Reductores de ejes paralelos:

- Engranaje cilíndrico dentado
- Los más económicos generan ruidos y vibraciones (contacto entre dientes súbitos y a todo el ancho del diente).
- Más silenciosos (contacto entre dientes gradual) Engranaje cilíndrico dentado helicoidal: Permiten velocidades más elevadas.
- Componente axial de la fuerza de contacto.

Moto - reductor

- Moto-reductor de dos etapas con ejes coaxiales
- Moto-reductor de dos etapas con ejes paralelos

Reductores de ejes concurrentes

- Relaciones de transmisión entre 1 y 6 en una etapa.
- Potencia y velocidad inferior a la de los reductores de ejes paralelos.
- Rendimiento ligeramente inferior al que presentan los reductores de ejes paralelos: 98% por etapa como máximo.
- Costo más elevado.

Reductores de ejes cruzados

- Para transmitir movimiento con muy poca potencia (contacto puntual entre dientes y gran deslizamiento) y con distancia entre ejes pequeños. Aplicaciones cinemáticas y con relaciones de transmisión entre 1 y 5, a continuación, un ejemplo de reductores de ejes cruzados:

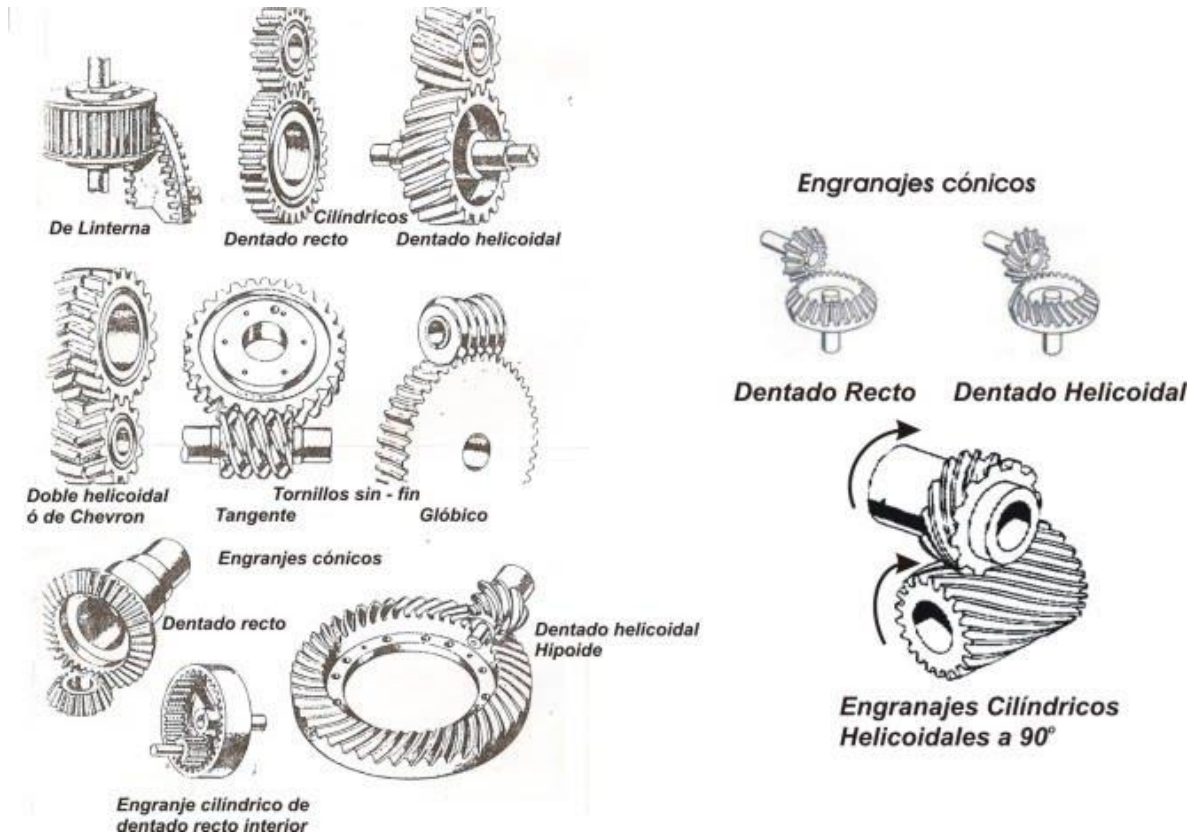
Reductores de tornillo sin fin

- Funcionamiento suave y silencioso
- Potencias y velocidades moderadas.
- Relaciones de transmisión “i” altas (7-100, en una etapa).
- Rendimientos bajos (45-90%, peor cuanto más grande es “i”).
- Posibilidad de funcionamiento irreversible (con rendimiento alrededor del 50%).
- Reductores para elevadores.
- Costo inferior al de reductores de engranajes cilíndricos o cónicos de reducción elevada.
- Materiales: tornillo de acero tratado superficialmente.
- Corona de fundición (bajas velocidades) o de bronce (altas velocidades).

Tipos de ruedas dentadas de los reductores

Dependiendo de la aplicación requerida se escoge un reductor, cuyas ruedas dentadas tienen alguna de las configuraciones específicas que aparecen en la figura 6.1

Figura 6.1. Tipos de engranajes usados en los reductores de velocidad



Fuente: <https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-engranajes>

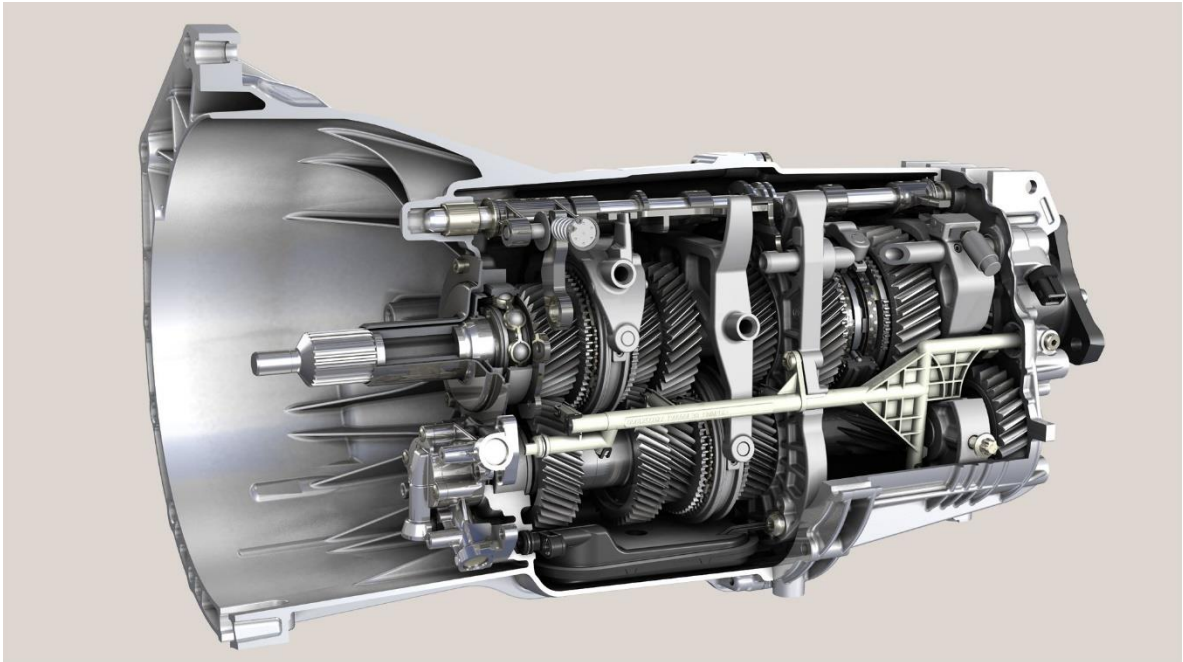
Los reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados. Rara vez las máquinas funcionan de acuerdo con las velocidades que les ofrece el motor, por ejemplo, a 1.800, 1.600 o 3.600 revoluciones por minuto. La función de un motor reductor es disminuir esta velocidad a los motores (50, 60, 100 rpm) y permitir el eficiente funcionamiento de las máquinas, agregándole por otro lado potencia y fuerza.

hay varios sistemas de reducción de la velocidad como transmisiones con sprocket y cadenas, poleas y correa; El uso de estos sistemas depende de las aplicaciones particulares que se necesitan para determinados procesos

6.2.3 Cajas reductoras

Leonardo Da Vinci diseñó un sistema que sería el precursor de la caja de cambios; estaba compuesto por una pieza cilíndrica y otra cónica con una serie de engranajes que convertían el mecanismo en un variador de velocidad

Figura 6.2. Caja de cambios



Fuente: <https://autolab.com.co/blog/caja-cambios/>

La caja es un componente del sistema de transmisión que se ubica entre el cigüeñal y las llantas. El motor transmite la fuerza a través de una serie de engranajes para que las ruedas giren permitiendo al vehículo arrancar y variar la velocidad para poder avanzar, subir, bajar a distintas velocidades. La transmisión de un vehículo puede ser trasera o delantera o en las cuatro ruedas.

Tipos de cajas de cambio: Actualmente hay 4 tipos de cajas de cambio, ellas son:

- I. Caja de cambios manual. Son de dos o de tres ejes
- II. Caja de cambios pilotada o automática
- III. Caja de cambios con transmisión de variación continua

Algunos de los componentes de la caja de cambios manual son:

- **Árbol primario:** Recibe el movimiento a la misma velocidad de giro del motor, generalmente tiene un solo piñón conductor cuando la caja es longitudinal y varios cuando es transversal. Este eje gira en el mismo sentido del motor.
- **Árbol intermedio:** Solamente se usa en las cajas longitudinales y tiene un piñón llamado corona, porque es el único que se engrana al árbol primario, luego tiene otros piñones que se llaman solidarios y se pueden engranar al árbol secundario dependiendo del cambio seleccionado. Este eje gira en el sentido opuesto al motor.
- **Árbol secundario:** Tiene varios piñones fijos a lo largo del eje, pero van montados sobre un cojinete de manera que puedan desplazarse a diferente velocidad del árbol, gira en sentido opuesto al motor en las cajas transversales y en la misma dirección en las longitudinales.

- **Eje de marcha atrás:** Lleva un piñón que se interpone entre los árboles intermedio y secundario en las cajas longitudinales o entre el primario y secundario en las transversales y sirve para invertir el sentido de giro habitual del árbol secundario.

Lo anotado es el funcionamiento básico de la caja de cambios manual, sin entrar a profundizar en la manera en que cada cambio hace funcionar los diferentes árboles, ni despiezar los sincronizadores y todos los demás elementos, simplemente es una manera de comenzar a conocer la manera en que los diferentes sistemas hacen que nuestro carro se pueda mover

6.3 MARCO TECNOLÓGICO

6.3.1 Dibujo Asistido por Computador CAD

La tarea principal de este proyecto consiste en elaborar los planos usando un sistema CAD, por tal motivo se describe a continuación estos sistemas

Con el avance acelerado de las ciencias de la computación de las dos últimas décadas, el proceso de construir modelos en 2D y 3D se ha simplificado notablemente mediante el uso de las técnicas del Dibujo Asistido por Computador (CAD). Antes, los dibujos de los planos tecnológicos se realizaban a pulso con la ayuda de instrumentos como reglas, escuadras, compas, rapidografos, etc.

Estos sistemas CAD permiten un amplio rango de actividades, desde el modelado geométrico 2D y 3D, hasta la creación del dibujo que documentan el diseño para los procesos de manufactura y para otras consideraciones

Entre las ventajas del trabajo en CAD, se tiene que el trabajo se hace más sencillo y más técnico. Si se cometen errores es posible editar para reparar y corregir sin tener que hacer el dibujo de nuevo. Otra ventaja es que por ser archivo electrónico, se puede compartir copias con otros usuarios; también es posible integrar el CAD con los sistemas CAM (Manufactura Asistida por Computador), es una técnica usada por las máquinas computarizadas de control numérico (CNC). Las máquinas de CNC, reciben y procesan la información gráfica realizada en CAD

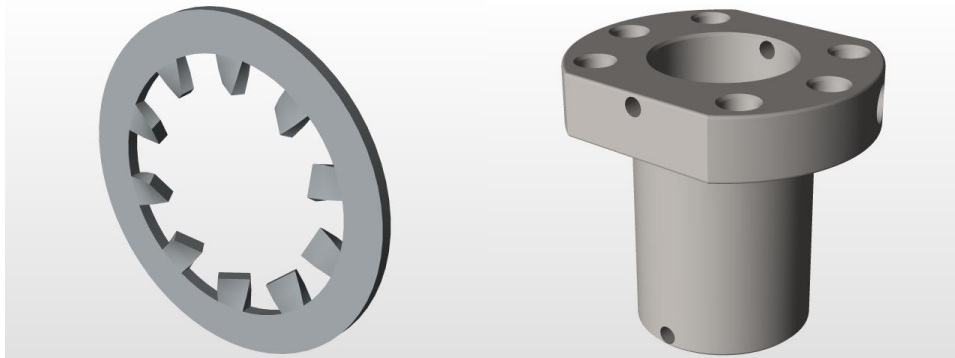
En los sistemas CAM, el dibujo en CAD es convertido en lenguaje de máquina, este lenguaje permite que las herramientas, de la máquina CNC, adquieran movimientos de rotación y desplazamiento para poder atacar y modificar la forma de los materiales con el propósito de fabricar elementos reales para maquinaria y equipos en general.

Es necesario anotar que la lista de los programas de CAD es muy amplia, existe una gran variedad de aplicaciones cuyos usos dependen de los tipos, formas y rendimientos de producción, de la calidad y de otras variables

En la Universidad Tecnológica de Pereira se cuenta con las licencias de los programas de AutoCAD, Inventor y SolidWorks. Para este trabajo, las piezas se modelaron en SolidWorks y otras en AutoCAD.

El SolidWorks es un programa que permite dibujar piezas sencillas como un cilindro con brida o una arandela

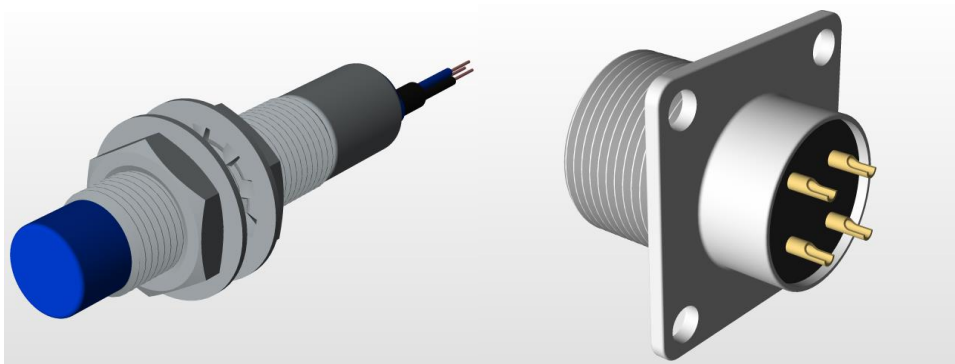
Figura 6.3. Cilindro y arandela



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

También permite dibujar elementos menos sencillos como un sensor o un terminal eléctrico

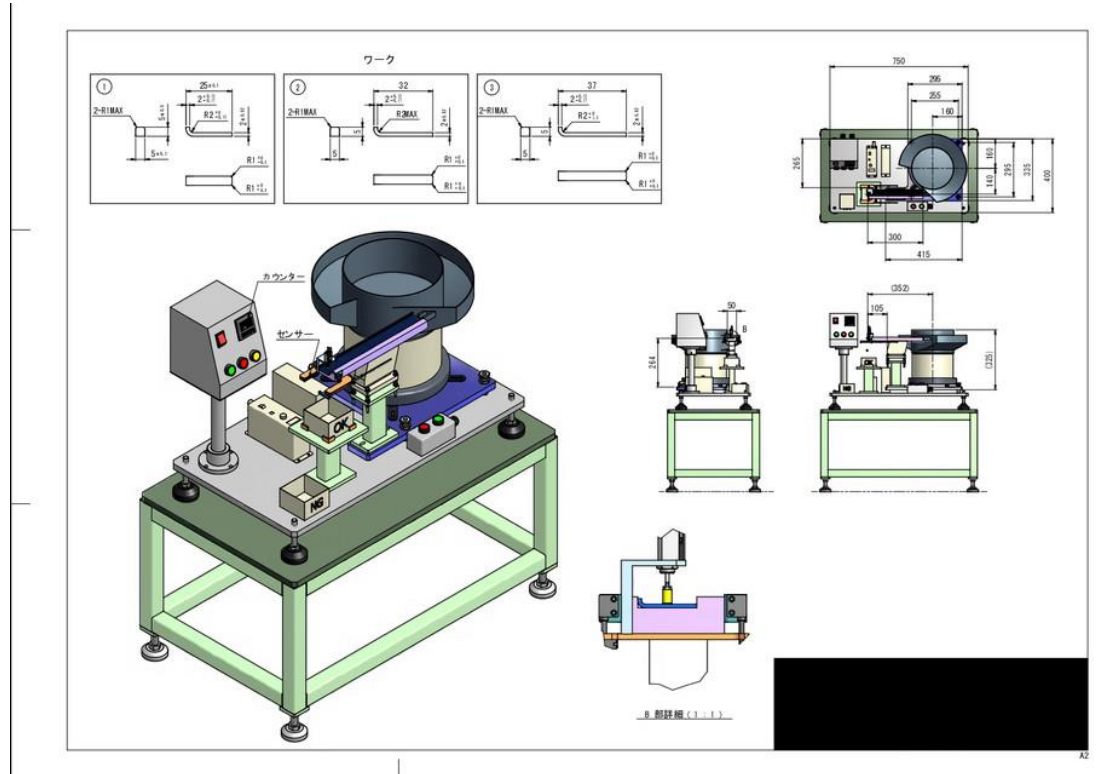
Figura 6.4. Sensor y terminal eléctrico



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

El programa permite dibujar y realizar ensambles para representar equipos o máquinas de sistemas de producción. La figura siguiente muestra un sistema de alimentación con su estructura y demás partes en forma completa. La representación consiste en mostrar la forma pictórica y las vistas ortogonales proyectadas

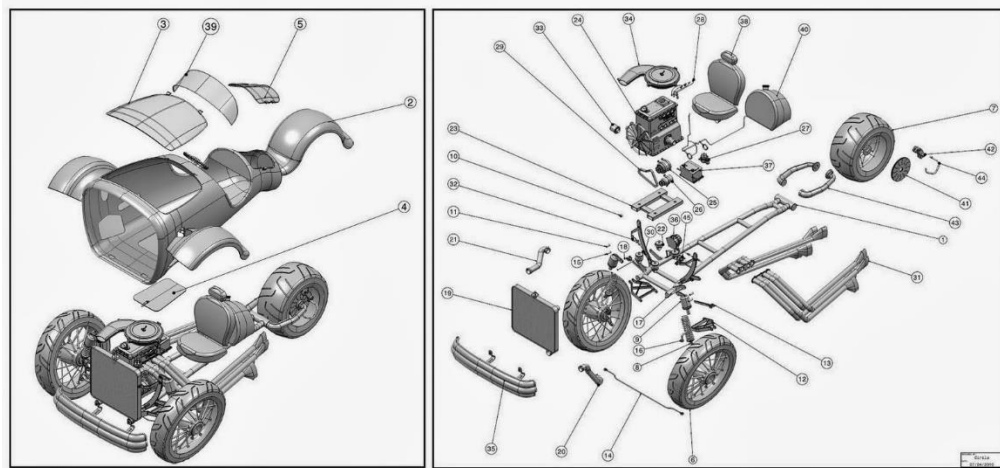
Figura 6.5. Proyección pictórica y ortogonal de una maquina completa



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

El programa permite dibujar parte por parte de un equipo; luego realizar el ensamble de las partes y realizar el dibujo de explosión para una mejor comprensión del sistema

Figura 6.6. Dibujo de ensamble y de explosión



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

Representación de modelos terminados para publicidad, mercadeo o catálogos

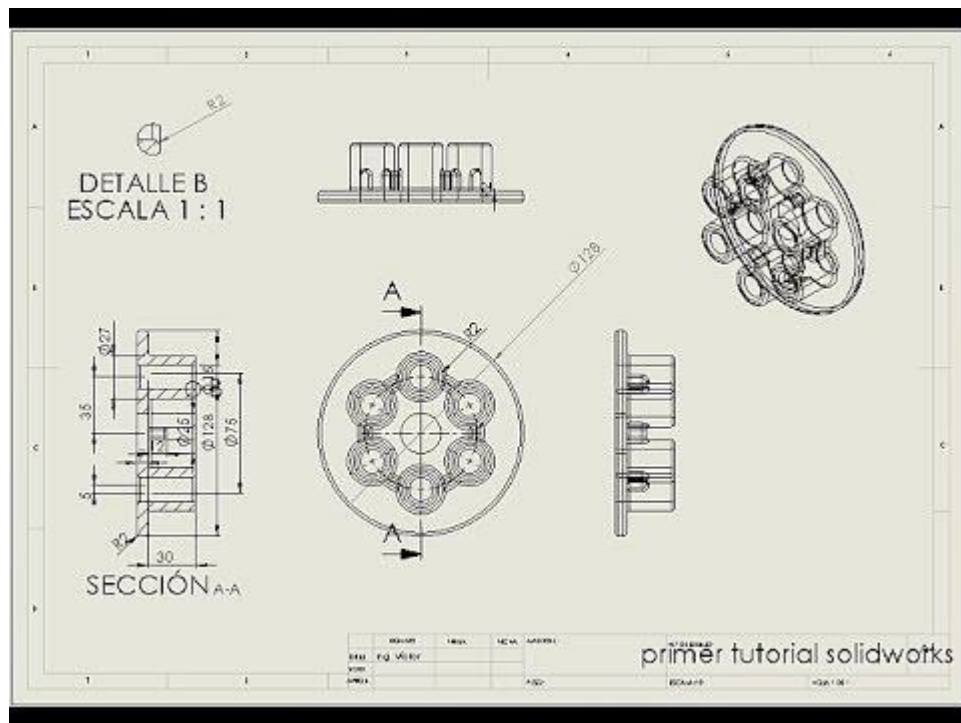
Figura 6.7. Modelo ensamblado usado para publicidad y catálogos



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

A partir del modelo se pueden generar las vistas ortogonales usando sistema de proyección del primer o tercer cuadrante. Las proyecciones se pueden acotar seccionar y ampliar los detalles importantes

Figura 6.8. Dibujo de detalle para un proceso de manufactura



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

También se pueden dibujar estructuras metálicas usando elementos estructurales estandarizados de acuerdo a los sistemas ISO, ANSI, ASME, DIN, etc.

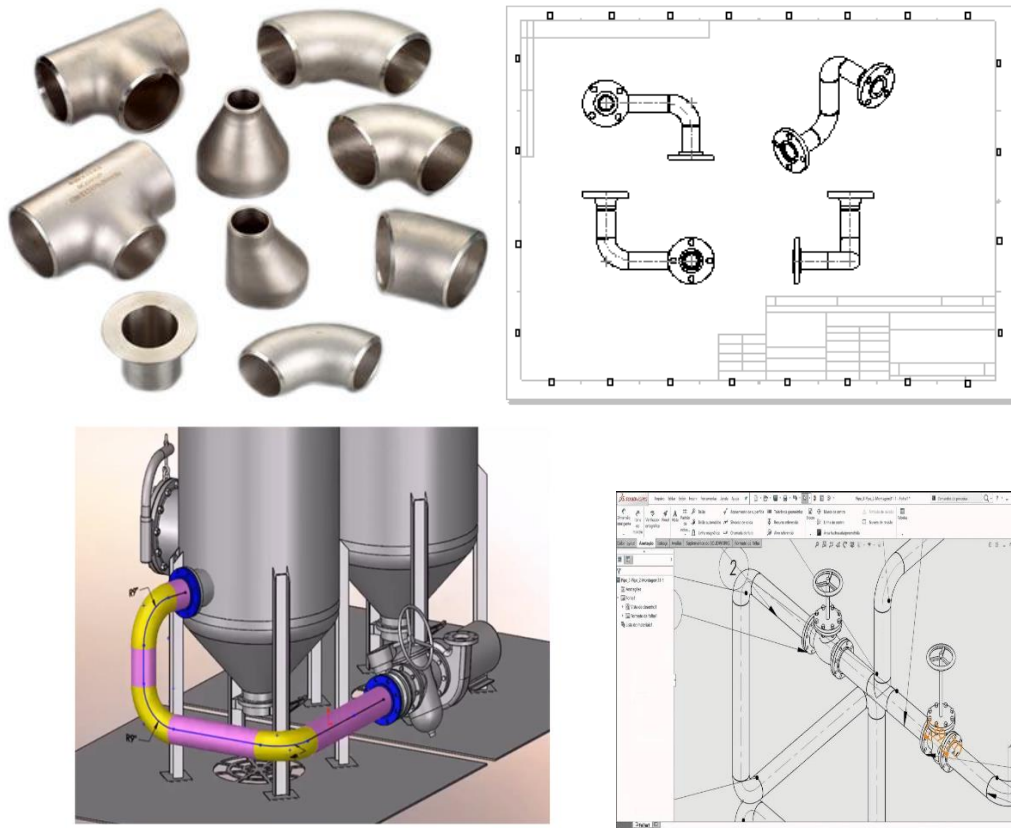
Figura 6.9. Estructura metálica



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

Es posible dibujar redes de tubería para proyectos comerciales e industriales, desde el dibujo de un accesorio hasta el dibujo de una red completa.

Figura 6.10. tipos diferentes de dibujo de tubería



Fuente: <https://grabcad.com/library/software/solidworks>

6.4 MARCO CONCEPTUAL

Para la elaboración de los planos primero se debe iniciar un proceso de medición de las partes, estas medidas difieren de las medidas originales, cuando estaban nuevas, debido al desgaste por el trabajo realizado; la toma de medidas también puede ser imprecisa debido a la mala calidad o mal uso de los instrumentos de medida

Para realizar una medición óptima es necesario conocer los principios de dimensionado o acotado de partes, de igual manera saber aplicar los conceptos y criterios de tolerancias dimensionales, geométricas y acabados superficiales

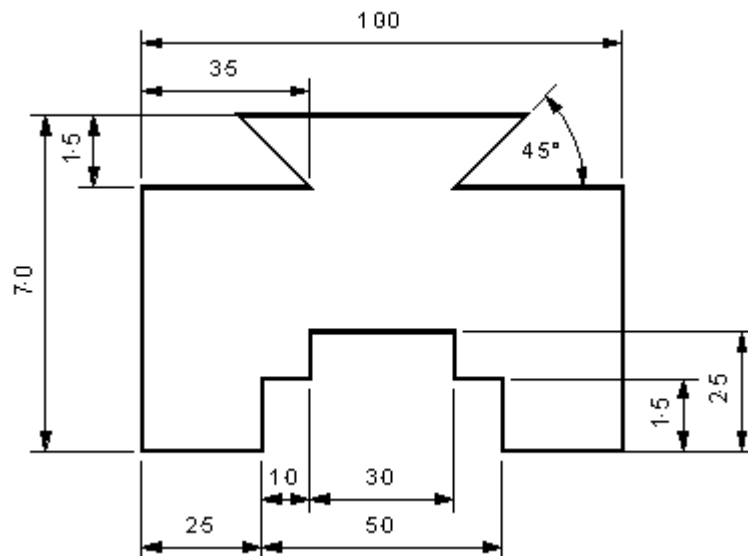
6.4.1 Dimensionado de los dibujos

Una vez definida las vistas proyectadas para interpretar la forma de cada pieza, se hace necesario colocar a cada pieza las dimensiones completas tales como ángulos, longitudes lineales, radios, diámetros, notas particulares y generales siguiendo las normas de acotado; se debe agregar información sobre tolerancias, acabado superficial y tipos de material. El plano debe contener toda la información necesaria para que la pieza se pueda fabricar

6.4.1.1 Acotación

Hay tres aspectos principales para realizar un buen acotado que son: Técnica de dimensionamiento. Colocación de las dimensiones y elección de las dimensiones [12]

Figura 6.11. Dibujo dimensionado en milímetros



- **Técnica de dimensionamiento:** La norma para la apariencia de las líneas, el espaciado de las dimensiones, el tamaño de las puntas de flecha, etcétera, es lo que permite a otros interpretar las dimensiones de las características del dibujo.

- **Colocación de las dimensiones:** Se debe usar la lógica para colocar las dimensiones de acuerdo a las practicas estándar de modo que sean legibles, fáciles de encontrar e interpretar por el lector.
- **Elección de dimensiones:** La dimensión que se coloque en el dibujo afecta la forma de fabricación del diseño. Primero se dimensiona para el funcionamiento, después se revisa las dimensiones para ver si se puede mejorar el acotado final

6.4.1.2. Tolerancias dimensionales

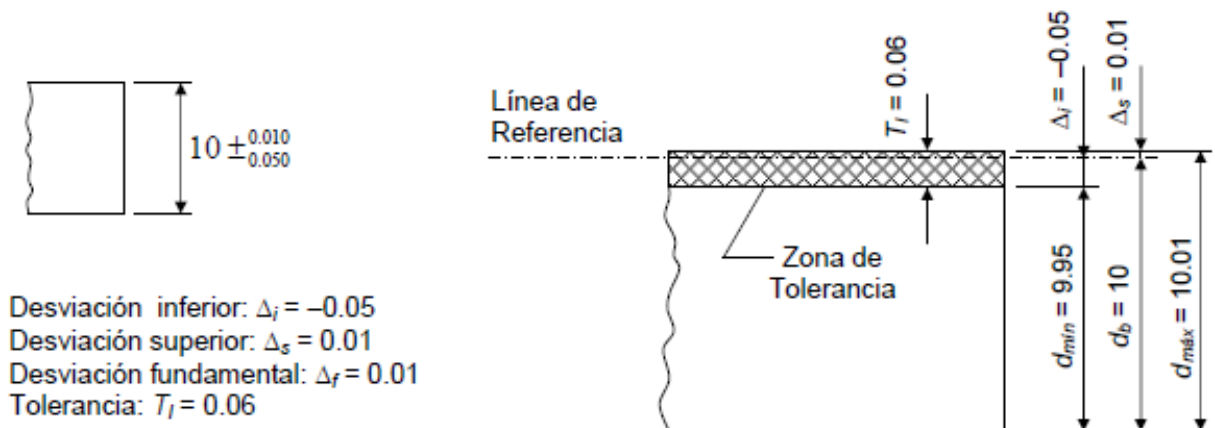
A continuación, se dan algunas definiciones referentes al concepto de tolerancia. Estas definiciones se ilustran en la figura 6.12.

Tamaño básico o dimensión básica (db): es la dimensión que se elige para la fabricación. Esta dimensión puede provenir de un cálculo, una normalización, una imposición física, etc., o aconsejada por la experiencia. También se le conoce como dimensión teórica o exacta y es la que aparece en el plano como medida identificativa.

Tolerancia (T): es la variación máxima permisible en una medida, es decir, es la diferencia entre la medida máxima y la mínima que se aceptan en la dimensión. La referencia para indicar las tolerancias es la dimensión básica.

Tolerancia unilateral: ocurre cuando la dimensión de una pieza puede ser sólo mayor o sólo menor que la dimensión básica.

Figura 6.12. Explicación gráfica del concepto de tolerancia



Fuente [6]

Según la norma ISO, las tolerancias fundamentales están constituidas 18 anchos de banda o 18 calidades llamadas IT que van desde la IT01, IT0, IT1 hasta la IT18 como se observa en la Tabla 6.1. Cada grado representa la amplitud de la tolerancia desde la más fina hasta la más burda con valores numéricos calculados para cada grupo de diámetros que aparecen en la columna de la izquierda de la tabla; siendo la IT 01 el grado de tolerancia de más precisión, a medida que aumenta el grado aumenta la magnitud de la tolerancia.

Ejemplo, para el de diámetros entre 10 a 18 milímetros con calidad 8, el valor de la tolerancia es de 27 μm

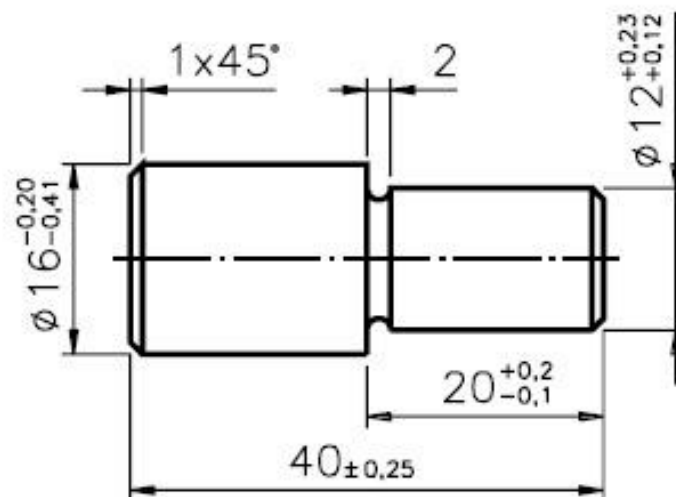
Tabla 6.1 Valores numéricos de las calidades IT. Según ISO (valores μm)

Grupos de Diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
Hasta 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
>3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
>6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
>10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
>18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
>30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
>50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
>80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
>120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
>180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
>250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
>315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
>400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Fuente [2]

Los valores de las tolerancias están estandarizados por la norma ISO. La columna de la izquierda muestra grupos de diámetros. Al medir una pieza terminada, esta variara ligeramente de la dimensión exacta especificada. La tolerancia es la cantidad total que se permite variar la dimensión, de una característica, con respecto a su medida ideal

Figura 6.13. Ejemplo de tolerancia dimensional



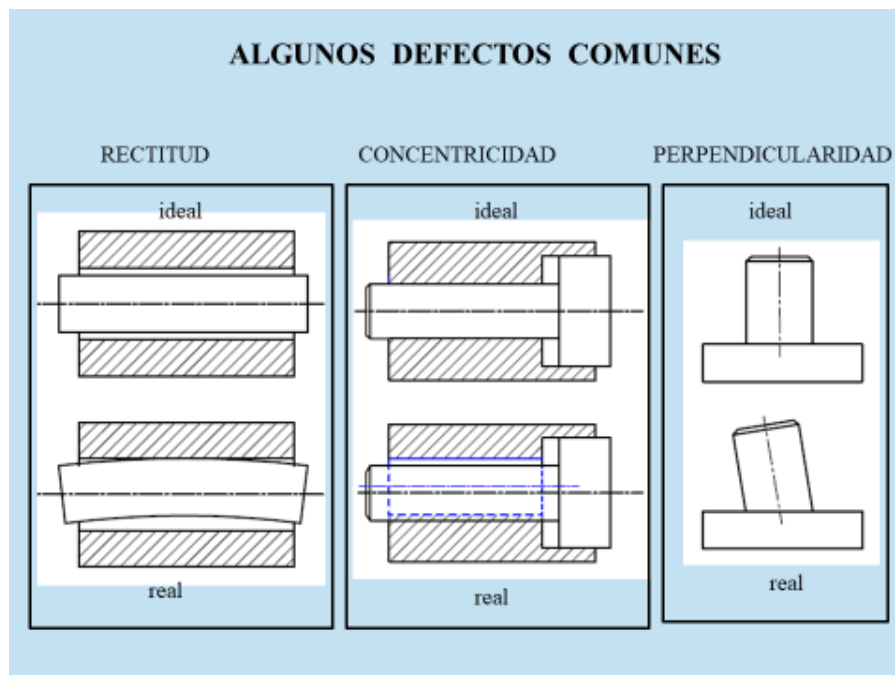
En la figura anterior se aprecia un eje donde la tolerancia para el diámetro mayor es 0,21 (la medida debe estar entre los valores: 15,59 y 15,80). Para el diámetro menor es de 0,11 (la medida puede estar entre 12,12 y 12,23)

6.4.1.3. Tolerancias geométricas.

Así como las tolerancias dimensionales se refiere a las variaciones de la longitud de una medida, análogamente, **las tolerancias geométricas** hacen referencia al grado de variación de la geometría o variación de la forma de un elemento con respecto a su forma ideal [12]. Esta variación de la forma se presenta por algún tipo de deformación que puede ser de orientación o de posición de algunas partes de las piezas. Pueden ser variaciones de perpendicularidad, de paralelismo de concentricidad, etc.

Tal como se muestra en la siguiente figura 6.14. cada figura superior muestra la forma ideal del elemento y cada figura inferior muestra la forma real del mismo elemento.

Figura 6.14. Algunos tipos de deformación geométrica



Fuente: Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

Por tanto, al presentarse una deformación geométrica, la deformación tiene que ser controlada, especialmente en aquellas piezas que acoplan unas con otras. El control se realiza aplicando **TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS** con sus reglas y sus métodos. El uso de tolerancias geométricas mejora la calidad de los ensambles de los elementos permitiendo ajustes óptimos en el ensamble de partes.

A continuación, se presenta una tabla con la simbología de los distintos tipos de tolerancia de acuerdo a las normas **ISO 1101** y **ASME Y 14.5-2009**:

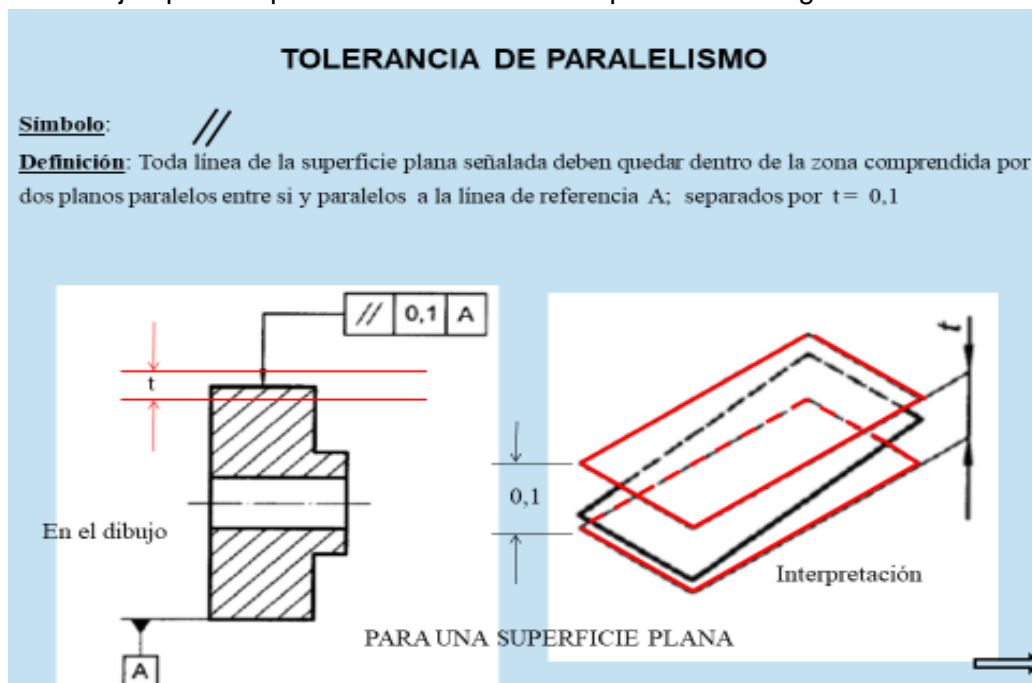
Tabla 6.2 Símbolos de las tolerancias geométricas según ISO y ASME

SIMBOLOGIA : ASME Y 14.5-2009 - ISO 1101		
SÍMBOLO PARA:	ASME Y14.5	ISO
RECTITUD	—	—
PLANITUD		
CIRCULARIDAD		
CILINDRICIDAD		
PERFIL DE UNA LÍNEA		
PERFIL DE UNA SUPERFICIE		
ALREDEDOR		
COMPLETO		
ANGULARIDAD		
PERPENDICULARIDAD		
PARALELISMO		
POSICIÓN		
CONCENTRICIDAD (Concentricidad y coaxialidad en la norma ISO)		
SIMETRÍA		
DESCENTRAMIENTO CIRCULAR		
DESCENTRAMIENTO TOTAL		
EN CONDICIÓN DE MATERIAL MÁXIMO		
EN EL LÍMITE DE MATERIAL MÁXIMO		NINGUNO
EN CONDICIÓN DE MATERIAL MÍNIMO		
EN EL LÍMITE DE MATERIAL MÍNIMO		NINGUNO
ZONA DE TOLERANCIA PROYECTADA		
PLANO TANGENTE		NINGUNO
ESTADO LIBRE		
PERFIL DISPUESTO DESIGUALMENTE		U2 (propuesto)
TRASLACIÓN		NINGUNO
DIÁMETRO		
DIMENSIÓN BÁSICA (Teóricamente exacto, dimensión en ISO)		
REFERENCIA (Auxiliar en ISO)		
CARACTERÍSTICA DE REFERENCIA		

Fuente: Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

La especificación de tolerancias geométricas se ilustra con el siguiente ejemplo:

Figura 6.15. Ejemplo de aplicación de tolerancia de paralelismo según Norma ISO



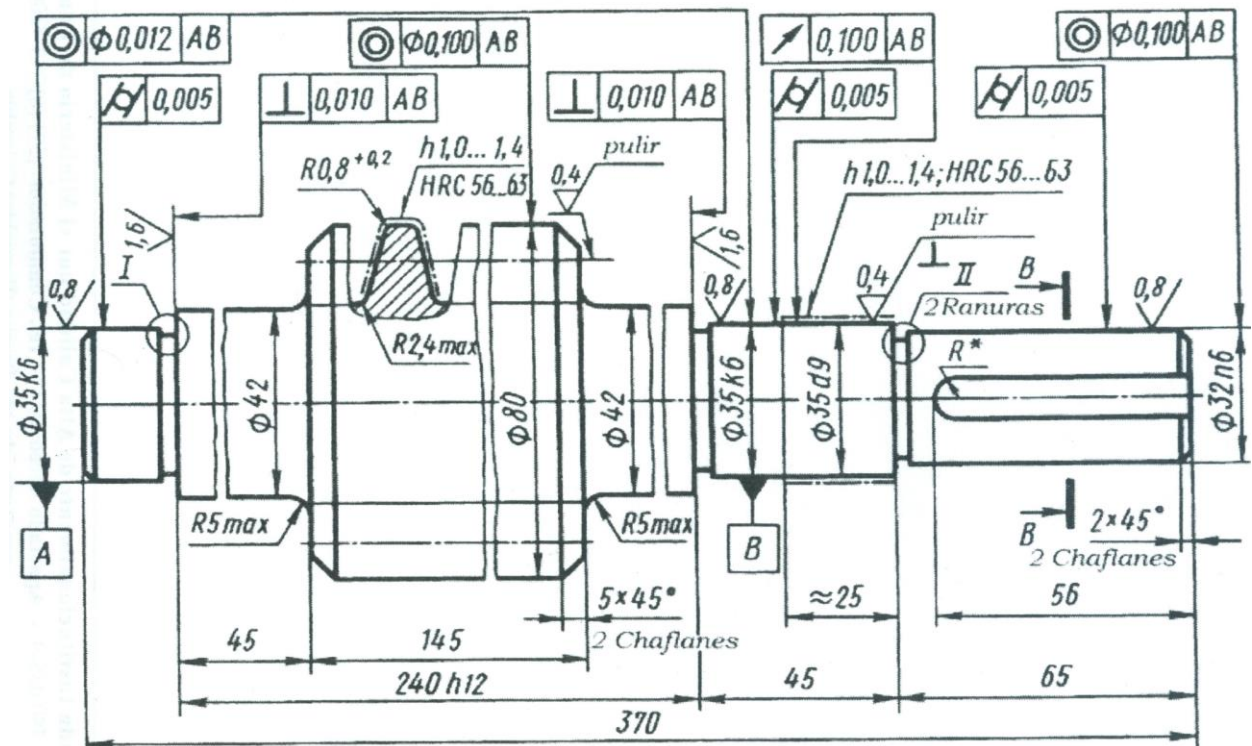
Fuente: Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

Como se puede observar, en el ejemplo: Aparece un rectángulo con tres compartimientos. El rectángulo se conecta a la pieza con una flecha que toca la superficie o característica cuya deformación geométrica será controlada. En el primer cuadro, a la izquierda del rectángulo, aparece el símbolo de la tolerancia geométrica, en este caso paralelismo, en el segundo cuadro aparece el valor de la desviación geométrica y en el tercero aparece la designación de la superficie o línea de referencia

Así como se aplicó y se representó la tolerancia de paralelismo, de igual manera se procede para aplicar los otros símbolos para los otros tipos de deformaciones geométricas

En la siguiente figura se ilustra un eje-piñón con diferentes tipos de tolerancias geométricas, representados con las simbologías, que deben ser tenidas en cuenta cuando se realice el proceso de manufactura del eje

Figura 6.16. Eje dentado con diferentes tipos de tolerancias geométricas

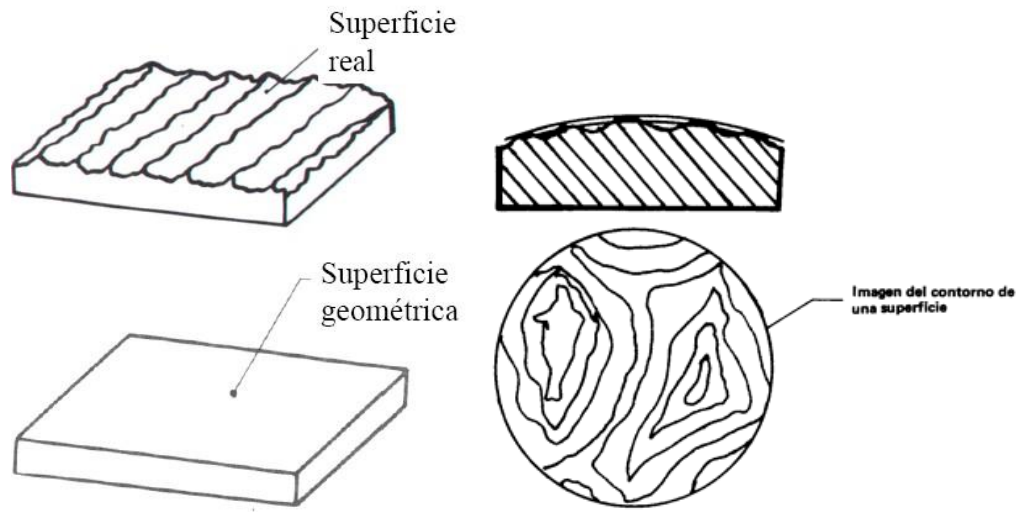


Fuente [7]

5.4.1.4. Acabados superficiales

Las partes de aviones, autos y otras máquinas están expuestas a cargas y fuerzas de fricción con el aire por el contacto entre las partes; esto ocasiona desgaste lo cual demanda la necesidad de un control preciso de la calidad de las superficies. El acabado superficial esté ligado a la calidad de una superficie, por ello es necesario especificar correctamente el grado de rugosidad. Este control solo se hace cuando es necesario; pues al implementar el sistema de control superficial aumenta los costos de producción del elemento

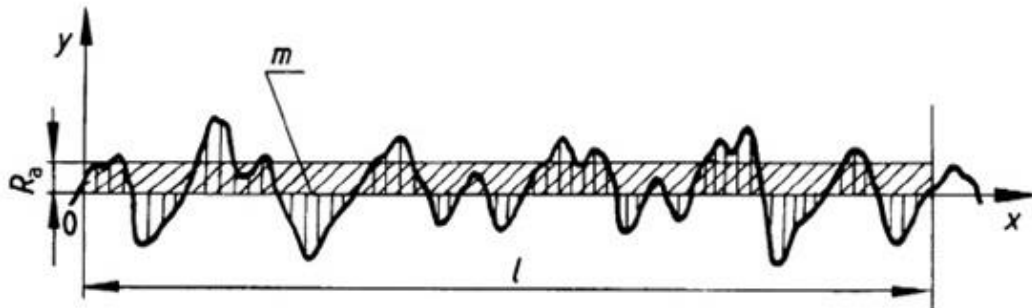
Figura 6.17. Contornos superficiales



Fuente: Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

La figura siguiente ilustra cómo se determina el valor de la rugosidad: es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil, en los límites de la longitud básica l

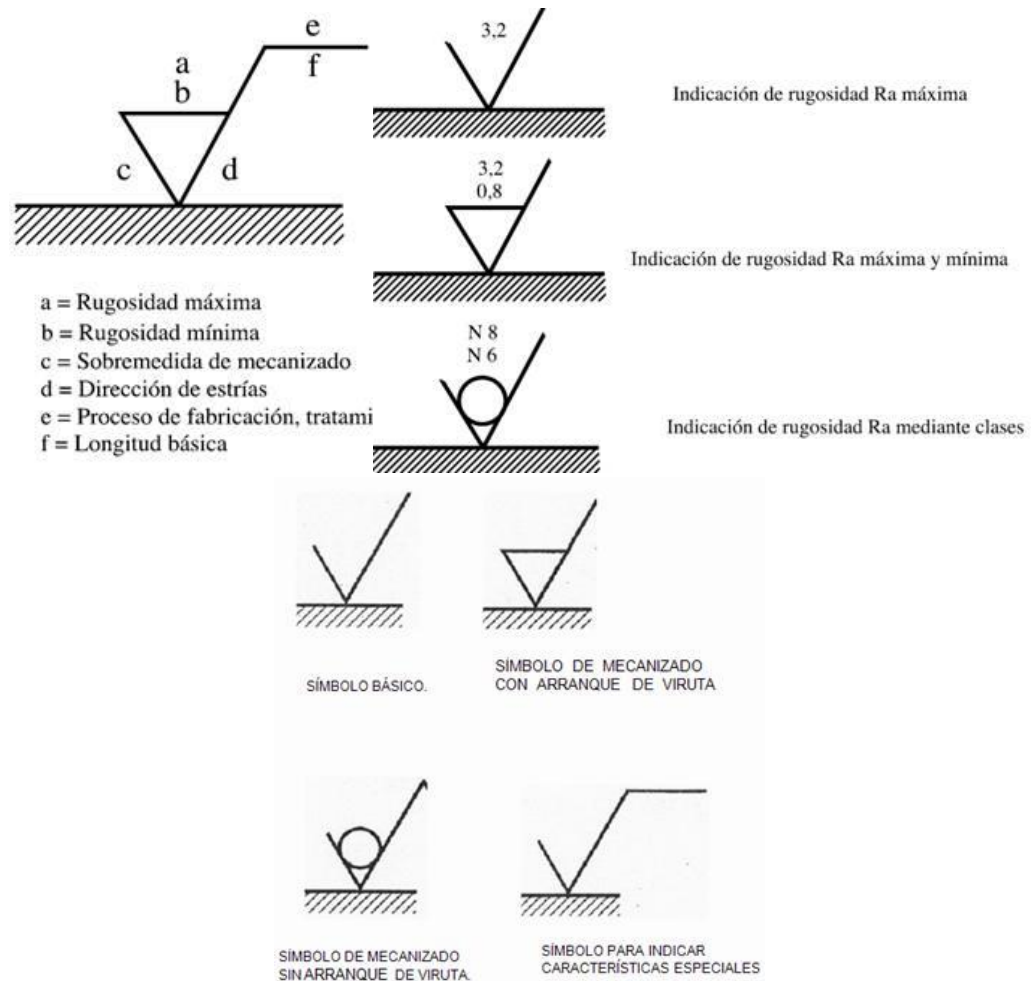
$$Ra = 1/l \int_0^l |Y(x)| dx$$



Fuente: Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

La norma ISO definió la simbología para representar y ubicar los valores numéricos que indican el tamaño las características de la rugosidad de una superficie

Figura. 6.18. Forma y significado de la simbología para la rugosidad



Fuente: Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

Los valores de Ra están tabulados de manera que el diseñador los puede seleccionar de tablas a partir de criterios de funcionamiento y aplicaciones requeridas. Los valores asociados a las clases o números de grados de Rugosidad son también llamados índices y se presentan en la siguiente tabla

Tabla 6.3. Índices de rugosidad estandarizados según ISO

Valores de rugosidad Ra		Números de grados de rugosidad
μm	$\mu\text{pulgadas}$	
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12.5	500	N 10
6.3	250	N 9
3.2	125	N 8
1.6	63	N 7
0.8	32	N 6
0.4	16	N 5
0.2	8	N 4
0.1	4	N 3
0.05	2	N 2
0.025	1	N 1

Fuente. Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

En los procesos de fabricación de partes, cada herramienta utilizada deja un tipo de huella o acabado de superficie, es decir una rugosidad promedio que aparece tabulada en la tabla 6.4

Tabla 6.4. Rugosidad promedio para los diferentes procesos de fabricación
La clase de rugosidad se consigue según el proceso de fabricación de la pieza

Proceso de fabricación	Rugosidad													
	Ra [μm]	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3	6	12	16	20	25
Desbarbado. Oxicorte														
Torneado. Fresado. Limado														
Taladrado														
Cepillado														
Rectificado														
Superacabado (lapeado)														
Pulido														
Laminación en caliente														
Moldeo en arena														
Forja														
Moldeo en coquilla														
Moldeo a presión														
Laminado, estirado, trefilado														
Extrusión														
Rugosidad más frecuente														
Rugosidad menos frecuente														

Fuente: Apuntes de clase. Materia Dibujo III. Año 2015

6.5 ESTADO ACTUAL

En la Escuela de Tecnología mecánica, se cuenta con la experiencia de elaboración de planos de diferentes tipos de máquinas y reductores de velocidad, por parte de los estudiantes, en sus proyectos de dibujo III de Tecnología Mecánica

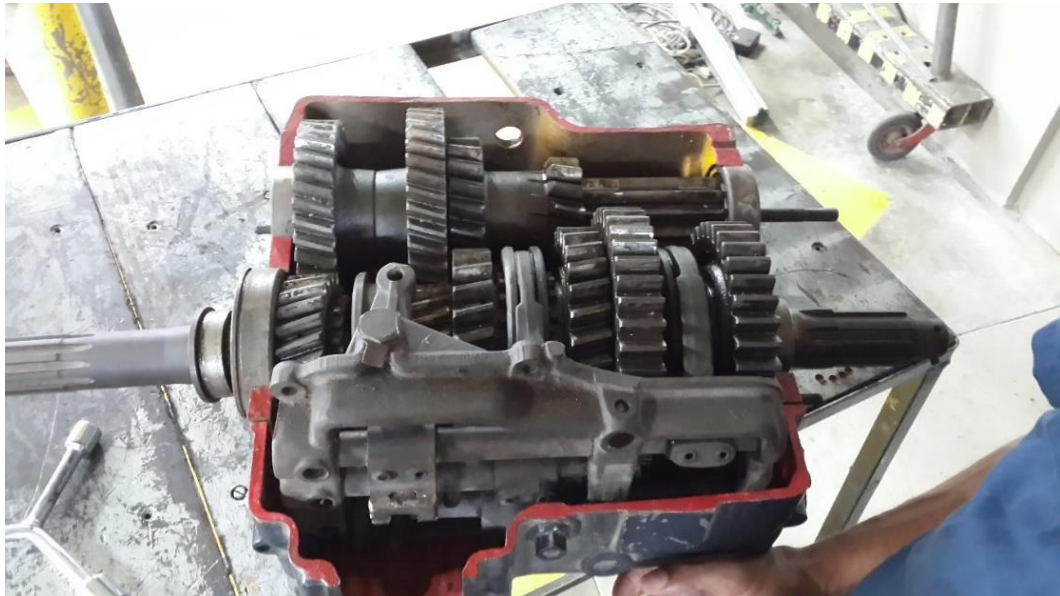
7. DISEÑO METODOLOGICO

7.1. PROCEDIMIENTO DE DESMONTAJE

Una manera de dar respuesta a la pregunta de cómo se elaboran los planos de un elemento ya fabricado es describiendo los procedimientos utilizados en este trabajo. Este tipo de presentación es descriptivo

A continuación, aparecen las fotografías del equipo antes de ser desensamblado. Este equipo esta exhibido en el laboratorio de la ETMUTP

Figura 7.1. Foto de Caja reductora antes de desensamblar



Fuente: el autor

Se procede a desensamblar cada uno de los componentes del equipo con el propósito de identificar cada una de las partes, para programar el proceso de medición

Figura 7.2. Eje con sus ruedas dentadas



Fuente: el autor

Antes de realizar el desmontaje, cada eje es numerado; a cada eje le corresponde un conjunto propio de ruedas dentadas que también se numeran para relacionarla con sus ejes respectivos, de manera que, al terminar los procesos de medición, se pueda realizar de nuevo el ensamble con mayor facilidad sin que se afecte el orden de las piezas

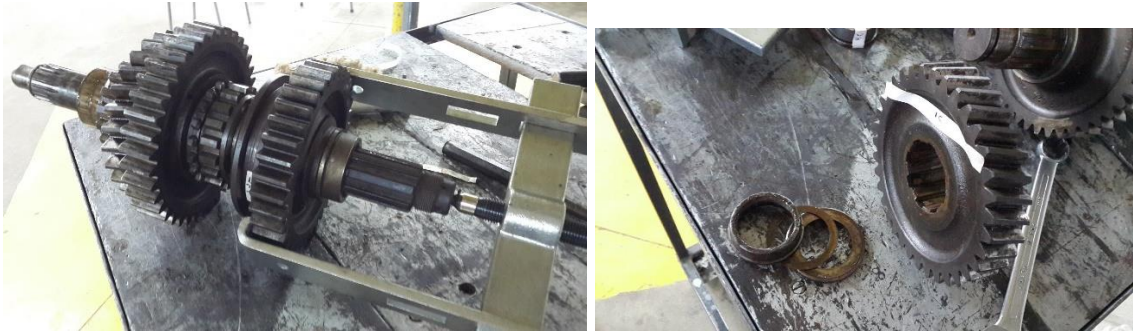
Figura 7.3. Piezas numeradas para facilitar el proceso de montaje posterior



Fuente: el autor

Después de la numeración se desmontan los rodamientos y ruedas dentadas de los ejes usando diferentes tipos de herramientas: entre ellas, un extractor y otras herramientas menores. Ver figura 7.4

Figura 7.4. Separación de las ruedas de los ejes con extractor



Fuente: el autor

A continuación, se muestran algunas piezas después del proceso de desmontaje total

Figura 7.5. Piezas varias de la caja reductora después del desmontaje



Fuente: el autor

7.2 DESCRIPCION DEL PROCESO DE MEDICIÓN

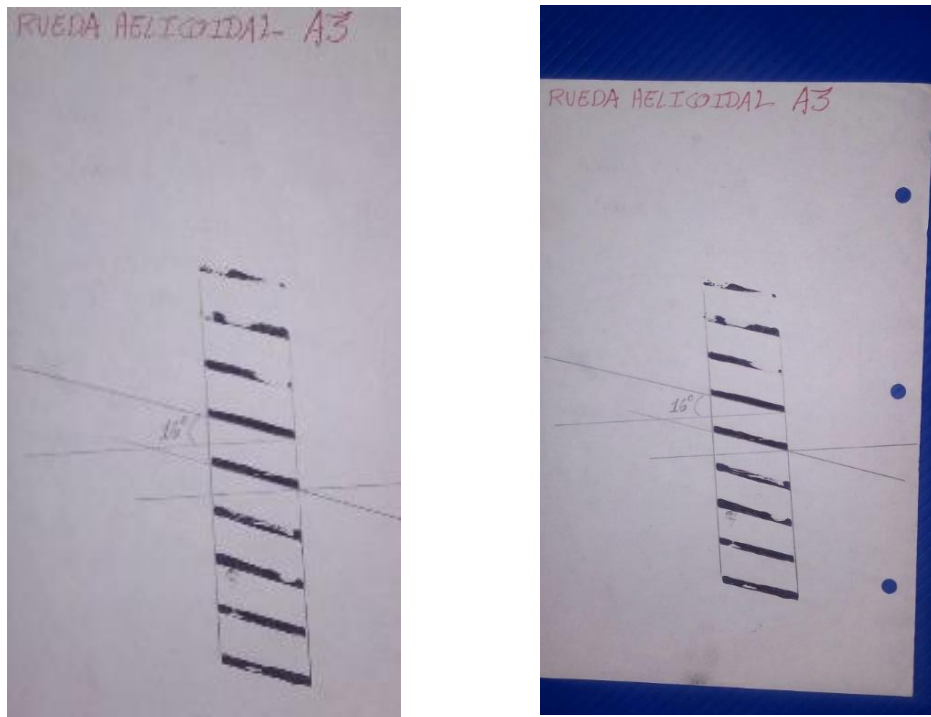
7.2.1. Determinación de los parámetros principales:

Los parámetros principales son los ángulos de hélice, módulos, diámetros exteriores, primitivo y de la raíz de las ruedas dentadas. Todas las dimensiones determinadas, en este trabajo, se encuentran expresadas en cada una de las piezas de los planos tecnológicos de la caja reductora que aparecen en el **ANEXO 1**

7.2.1.1 Determinación de módulos y Angulo de hélice

Inicialmente se cubrió de tinta los dientes de la rueda para marcar las huellas de los dientes en un papel; sobre el papel se puede medir los valores aproximados de el paso de los dientes, el Angulo de la hélice

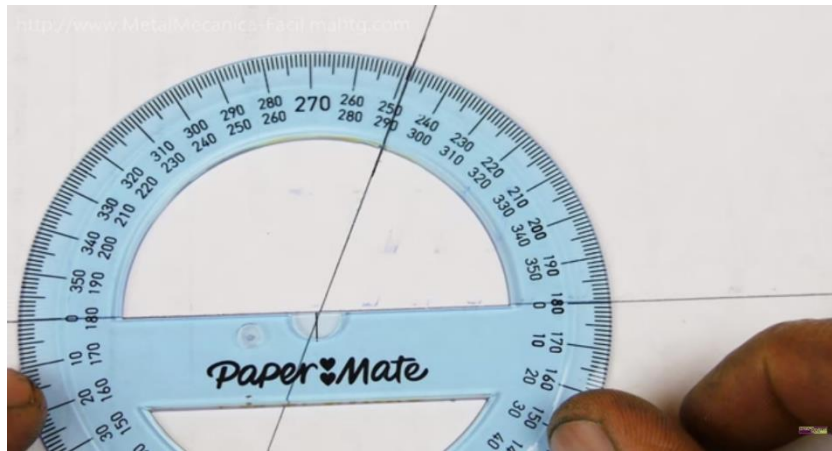
Figura 7.6. Huellas de las ruedas dentadas para determinar los pasos y en ángulo de hélice



Fuente: el autor

En el papel usando regla con la ayuda del transportador se midió el ángulo aproximado de la hélice. Se procedió a extender cuidadosamente las líneas de las huellas para poder calcular el Angulo muy aproximado

Figura 7.7. Medición del Angulo de la hélice



Fuente: el autor

7.2.1.2. Determinación de diámetros primitivos

Nuestro segundo paso fue obtener el diámetro exterior de cada engranaje con la ayuda de un **vernier o pie de rey**, en este caso fueron datos aproximados por ser los números de dientes impares.

Figura 7.8. Medición de los diámetros primitivos de las ruedas



Fuente: el autor

7.2.2 Uso de ecuaciones

El método para determinar el modulo real de cada rueda dentada, se describe a continuación:

No se conoce el módulo estándar (**m**) de la rueda dentada; para calcularlo se utiliza el siguiente procedimiento:

- Se cuenta el número de dientes de la rueda
- Por el método de la huella se determinó el paso, el Angulo de hélice
- Se midió el diámetro primitivo de las ruedas dentadas

Con la información anterior se puede usar la información anterior para determinar el modulo aproximado (**Ma**) [8]

$$Ma = \frac{De}{\frac{N}{\cos \alpha_e} + 2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Encontrado el valor de **Ma**, se puede determinar el ángulo exacto de la hélice usando la siguiente ecuación:

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{tg } \alpha_e (De - 2Ma)}{De} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para hallar el valor exacto del **M** (modulo real) se procede a usar la siguiente ecuación

$$M = \frac{De}{\frac{N}{\cos \alpha} + 2} \quad \text{Ecuación 3}$$

El procedimiento anterior se usó para calcular los parámetros no conocidos de todas las ruedas dentadas

Luego se usó las siguientes ecuaciones para corroborar [8]

$$Ma = \frac{M}{\cos \alpha}, \quad Dp = Ma(N), \quad De = Dp + 2M, \quad Ph = \frac{3.1416 Dp}{\tan \alpha} \quad \text{Ecuación 4}$$

Ma: Modulo aparente

M: Modulo real

α : Angulo de la hélice

Dp: diámetro primitivo

De: diámetro exterior

N: Numero de dientes

Ph: Paso de la hélice

α_e : Angulo del diámetro

Por último, se procedió a **ESTANDARIZAR** los parámetros de las ruedas con dientes rectos y helicoidales usando como guías las referencias [8], [9] y [10]

6.2.3 Ejemplo ilustrativo sobre el cálculo de una rueda dentada helicoidal

A continuación, se presenta un ejemplo, usando una de las piezas, de este trabajo, para ilustrar como se procedió para dimensionar y estandarizar cada una de las ruedas dentadas.

Inicialmente se procedió a calcular el módulo aparente ya que conocíamos el diámetro de la rueda el número de dientes y el ángulo de presión.

$$Ma = \frac{102,08}{\frac{22}{\cos(14^\circ)} + 2} = 4,14 \quad \text{Ecuación 5}$$

Lo siguiente fue proceder a calcular el ángulo de presión por medio de la ecuación y estandarizarlo.

$$t_g \alpha = \frac{tg(14^\circ)(108,02 - 2 \cdot 4,14)}{108,02} = 0,23021639 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\alpha = 12,96^\circ \approx 13 \text{ Este ángulo se estandariza de acuerdo a [10]}$$

$$\alpha = 15^\circ \text{ Ángulo estandar más cercano a } 12,96^\circ \text{ de acuerdo a [10]}$$

Por último, se calculó el módulo real y de igual manera se estandarizo.

$$Mr = \frac{108,02}{\frac{22}{\cos(15)} + 2} = 4,36 \text{ Este módulo se estandariza de acuerdo a [9] Ecuación 7}$$

$$Mr = 4 \text{ Módulo preferido de acuerdo a [9]}$$

A continuación, se procedió a corroborar y comprobar si los valores determinados están lejanos o cercanos a los valores calculados con las ecuaciones teóricas

Este procedimiento se realiza con el fin de garantizar y confiar con certeza en el cálculo de cada uno de los valores encontrados.

Se encuentra nuevamente el módulo aparente y se compara con el encontrado inicialmente para corroborar que son muy similares.

$$Ma = \frac{102.08}{\frac{22}{\cos(15)} + 2} = 4,12 \text{ Módulo muy cercano al hallado anteriormente de } 4,14 \text{ Ecc. 8}$$

Después se calcula el diámetro primitivo para poder utilizarlo en la siguiente ecuación

$$Dp = 4,12 * (22) = 90,64$$

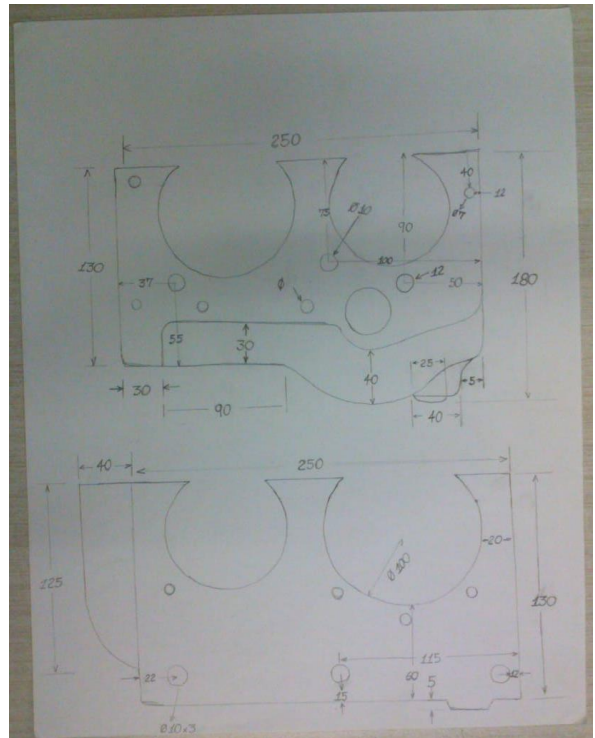
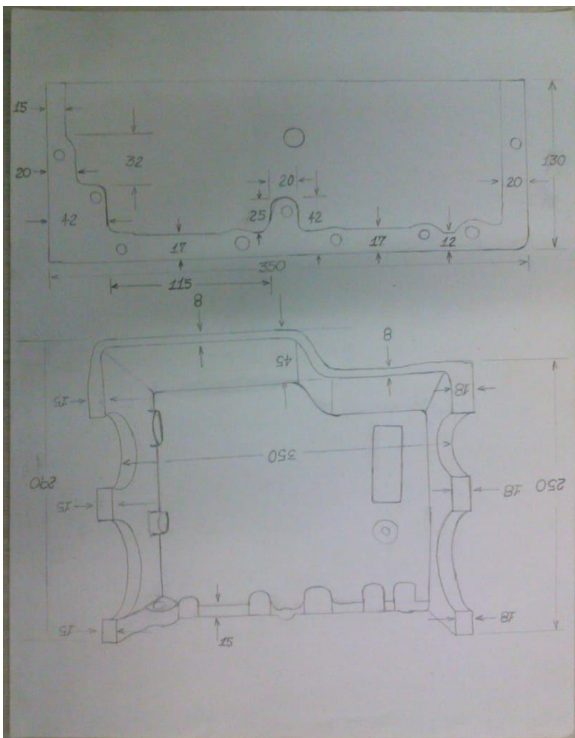
Por último, se encuentra nuevamente el diámetro exterior y se compara con el encontrado inicialmente para corroborar que son muy similares.

$$De = 90,64 + 2 * (4) = 98,64 \text{ Diámetro exterior muy aproximado al real de } 102,08$$

7.2.4 Dibujo a pulso o mano alzada

Tan pronto se definen los parámetros definitivos, se procede a tomar las demás medidas de cada una de las piezas. Estas medidas deben quedar registradas en bosquejos, realizados a pulso, que serán usados para dibujar los planos en CAD

Figura 7.9. Bosquejos a mano alzada con medidas

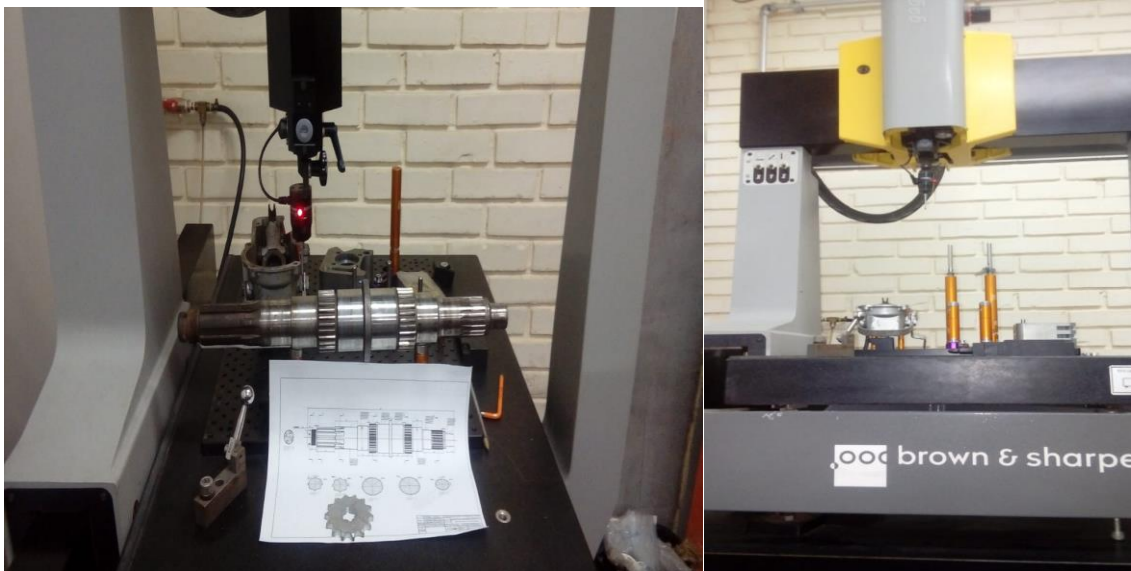


Fuente: el autor

7.3 Máquina de coordenadas

Al terminar de registrar las dimensiones de las piezas en los bosquejos se procede a utilizar la máquina de coordenadas para determinar las tolerancias geométricas de cada pieza.

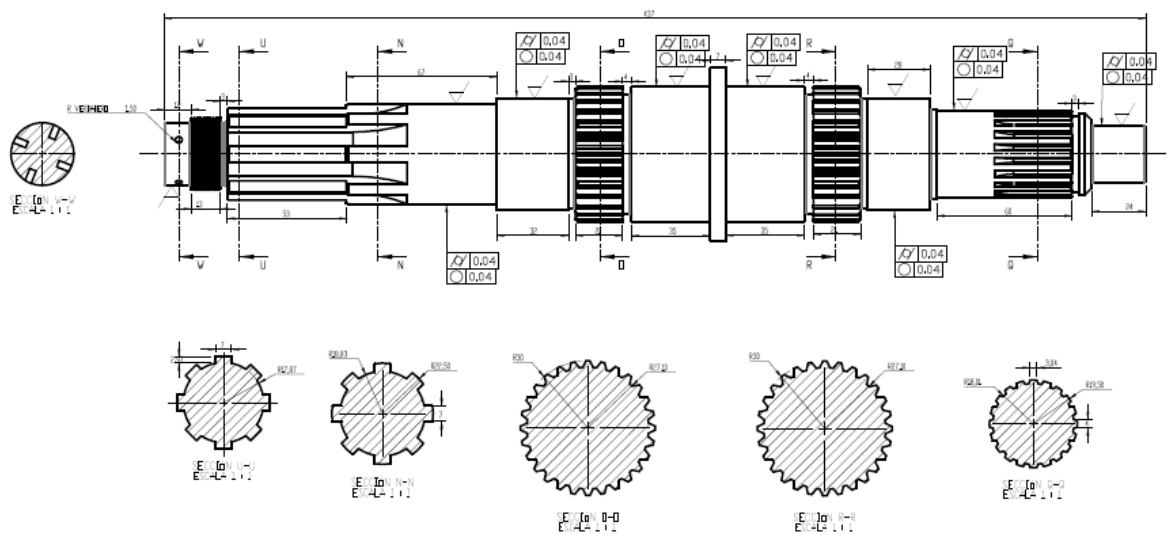
Figura 7.10. Máquina de medición de coordenadas



Fuente: el autor

Los valores de las tolerancias geométricas aparecen en los planos terminados del **ANEXO1**. A continuación; ver figura 7.11, se aprecia el dimensionado de una de las piezas con sus tolerancias geométricas

Figura 7.11. plano con tolerancias geométricas obtenidas en la máquina de coordenadas



Fuente: el autor

8. RECURSOS DISPONIBLES

8.1 Recursos materiales

Los elementos de medida Para llevar a cabo el proceso de medición se usó los siguientes elementos de medida

- Compás de exteriores e interiores
- Calibrador pie de rey
- Galgas
- Micrómetro
- Flexómetro
- Máquina de medición de coordenadas.

Figura 8.1. Herramientas usadas para obtener las medidas de los elementos



(a) Compás



(b) Micrómetro



(c) Pie de rey



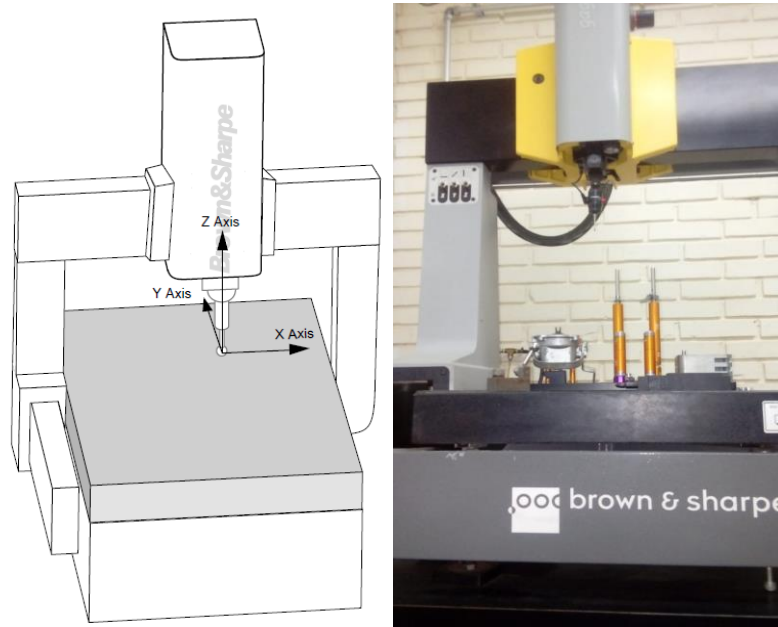
(galgas)



(e) Flexómetro

Fuente: www.metrologia.fullblog.com

Figura 8.2. Máquina de medición de coordenadas (MMC)



Cortesía de Brown & Sharpe y laboratorio de ETMUTP Universidad Tecnológica

Para poder realizar la toma de medidas de ajustes y tolerancias se usó la máquina de medición de coordenadas ubicada en el laboratorio de la ETMUTP.

- Se codificó la máquina para poder dar medidas exactas a cada pieza de la caja reductora de velocidades.
- Se determinó las tolerancias geométricas para los ejes y las ruedas dentadas como cilindridad, perpendicularidad.
- Se apuntó cada una de las medidas arrojadas por la máquina y luego se plasmaron estas mismas en el plano correspondiente a cada pieza.

8.2 Recursos institucionales

Se usó el software con licencia SolidWorks y AutoCAD de las salas de CAD de la Universidad Tecnológica de Pereira para realizar los planos

8.3 Recursos financieros

No se necesitó solicitar recursos económicos a la Universidad, pues los gastos fueron menores como fotocopias, marcadores, tinta, etc.

9. RESULTADO E IMPACTO ESPERADOS

Cuando se ha concluido el proceso se lograron los siguientes resultados

- Se desarrolló un procedimiento o manera de dimensionar las ruedas dentadas para determinar los parámetros estandarizados, cuando se tiene la rueda, pero no se tienen los planos.
- Se aplicó ingeniería inversa a una máquina y sus elementos en lo referente al dimensionado de partes y elaboración de los planos
- Se determinó los valores de las tolerancias geométricas usando la máquina de coordenadas
- Se avanzó en el conocimiento y la practica en el manejo de los programas SolidWorks y AutoCAD.
- El producto más importante de este trabajo son los planos tecnológicos, de los elementos de la caja reductora de velocidad, dibujados en **CAD** que pueden ser usados en el proceso de producción o fabricación de los componentes de la máquina. Estos planos aparecen en el **ANEXO 1**

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

- Se tomaron las dimensiones de cada uno de los elementos de la caja reductora de velocidad
- Se aplicaron criterios de ingeniería inversa para dimensionar cada una de las partes de la caja reductora siguiendo una secuencia establecida
- Los resultados del trabajo fueron satisfactorios, pues con dichas medidas fue posible dimensionar y elaborar los planos en CAD
- Se avanzó en el conocimiento y el manejo del CAD, lo cual es un agregado importante para los estudiantes en el posterior desempeño en la vida profesional
- Se elaboraron los planos tecnológicos de cada una de las partes de la caja reductora de velocidad
- Se logró comprobar que la Universidad Tecnológica de Pereira tiene maquinas, equipos y software adecuado para realizar este tipo de trabajo, pues gracias a estos elementos fue posible dimensionar y dibujar las partes de la maquina
- Las prácticas en la máquina de coordenadas (MMC), nos hizo caer en cuenta que se tiene un magnifico equipo para desarrollar prácticas de medición con el estudiante o prestando este servicio a la industria regional

10.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se dan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda realizar un estudio de medición más avanzado del dimensionado para determinar cuál ha sido el desgaste real de cada elemento
- Realizar este tipo de trabajo, de medición, más frecuentemente con piezas sencillas, usando la máquina de coordenadas, en las practicas durante las materias de pregrado
- Se debe crear un stock o grupo de piezas, de diferentes tipos de máquinas, donadas o recolectadas en talleres para que cada estudiante pueda hacer sus prácticas particulares de dimensionado o calibración.
- Difundir este tipo de actividad como una prestación del servicio de medición a las industrias y centros educativos regionales

11. BIBLIOGRAFIA

- [1]. Arroyave Londoño, Juan F.; Romero Piedrahita, Carlos A.; Montilla Montaña, Carlos A. Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfín - corona Scientia Et Technica, vol. XVII, núm. 52, diciembre, 2012, pp. 204-210 Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia <https://www.redalyc.org/pdf/849/84925149023.pdf>
- [2]. Cruz Agudelo, Yuli Estefanía. Desarrollo tecnológico y construcción de una caja reductora. Editor: Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Tecnología Mecánica. Año 2013
- [3]. Montoya Montalvo, Daniel, Diseño de un reductor de velocidad para el accionamiento de una máquina de roto moldeo. Proyecto de grado. Universidad Politécnica de Valencia, España. Año 2014. <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/objetos/tutorial159.pdf>
- [4]. Moscardó Palop, Alejandro. Diseño y cálculo de un reductor de velocidad. Proyecto de grado. Universidad Politécnica de Valencia, España. Año 2017. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85519/memoria_53201114.pdf?sequence=1
- [5] https://www.autoevolution.com/news/magna-buys-transmission-maker-getrag-for-19-billion-97861.html#agal_0. Enero 15-2019
- [6]. https://gamorenorod.files.wordpress.com/2018/02/cap10_tolerancias.pdf, Enero 15-2019
- [7] Romero Piedrahita Carlos Alberto, Calle Trujillo Gabriel, *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINA*, edición 1. Pereira, Risaralda: Universidad Tecnológica de Pereira, 2005.
- [8] CASILLAS, A. L. MAQUINAS, cálculos y taller páginas. Editorial Hispano american. Edición 22. Pág. 178 y 190
- [9] SHIGLEY, Joseph Edward. Diseño en ingeniería mecánica. 5ª Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana de México S.A. 1990. pag. 621
- [10] SHIGLEY, Joseph E. Teoría de máquinas y mecanismos. Editorial McGraw-Hill. Primera edición. 1988, pag. 305
- [11] 1101, ISO. Geometrical product specifications (GPS)- Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run-out
- [12] JENSEN, Cecil. HELSEL Jay y SHORT, Dennis R. Dibujo y diseño de Ingeniería. Editorial MCGRAW-HILL. 6a Edi. 2002. Capítulo 8
- [13] V.N. Beliaév y otros autores. Atlas de elementos de máquinas y mecanismos. Ediciones CEAC, S.A., Tercera edición de 1983 Barcelona España

12. LISTA DE TABLAS

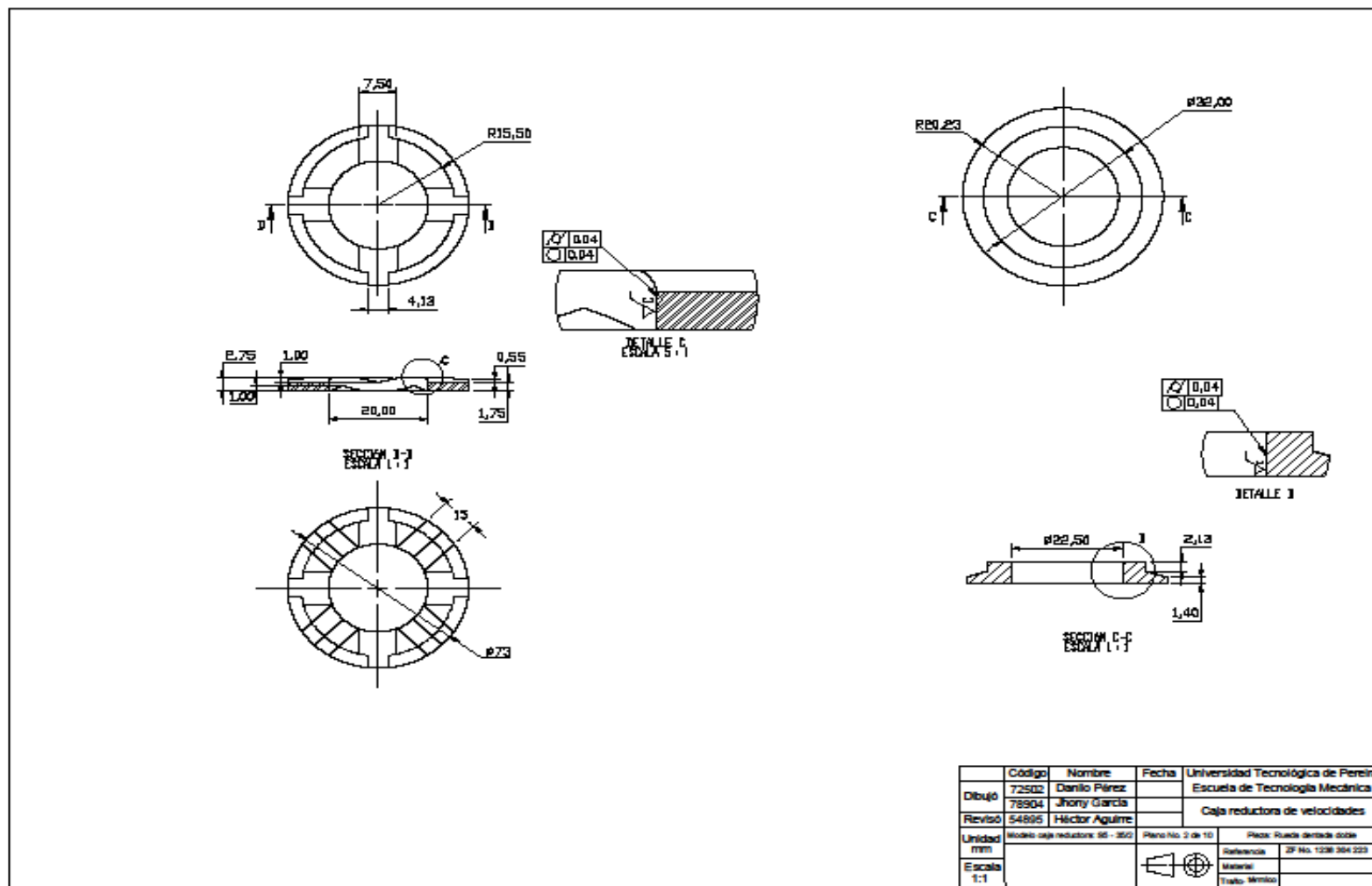
Tabla 6.1. Valores numéricos de las calidades IT. Según ISO (valores μm)	27
Tabla 6.2. Símbolos de las tolerancias geométricas según ISO y ASME.....	29
Tabla 6.3. Índices de rugosidad estandarizados según ISO.....	33
Tabla 6.4. Rugosidad promedio para los diferentes procesos de fabricación.....	33

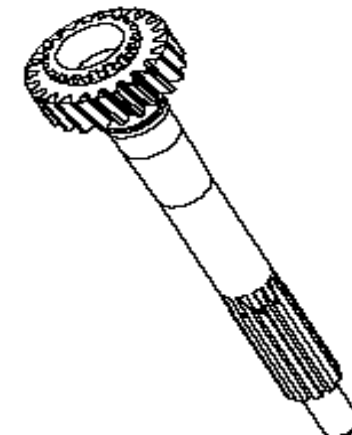
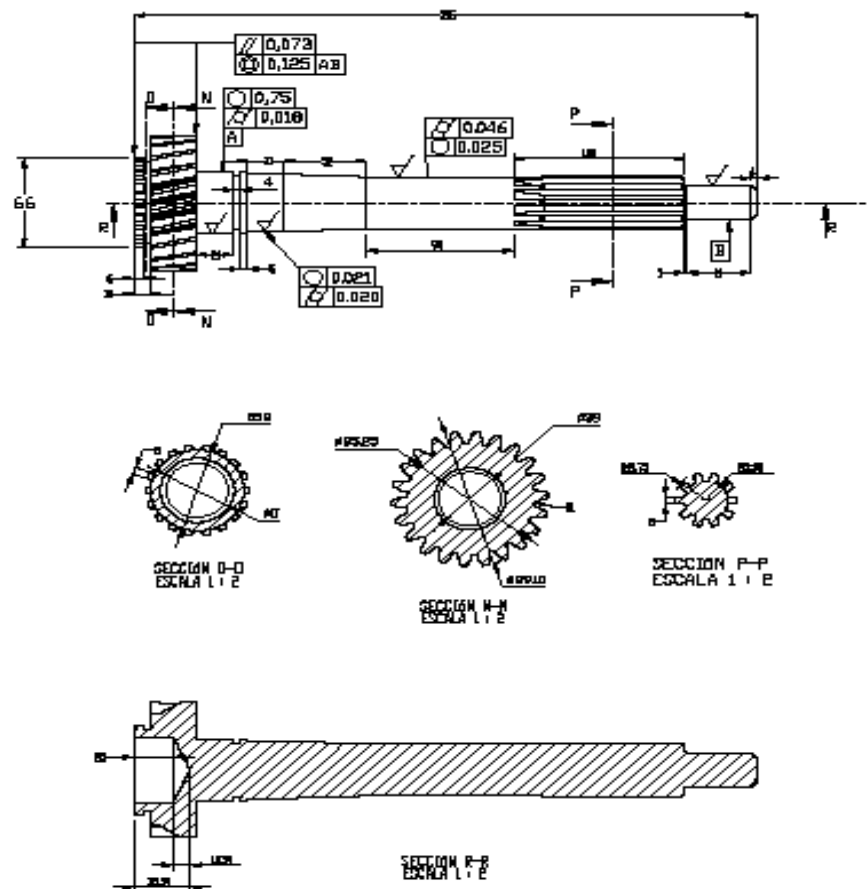
13. LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Desmontaje de las ruedas	12
Figura 6.1. Tipos de engranajes usados en los reductores de velocidad.....	18
Figura 6.2. Caja de cambios	19
Figura 6.3. Cilindro y arandela	21
Figura 6.4. Sensor y terminal eléctrico	21
Figura 6.5. Proyección pictórica y ortogonal de una maquina completa	22
Figura 6.6. Dibujo de ensamble y de explosión	22
Figura 6.7. Modelo ensamblado usado para publicidad y catálogos.....	23
Figura 6.8. Dibujo de detalle para un proceso de manufactura	23
Figura 6.9. Estructura metálica.....	24
Figura 6.10. tipos diferentes de dibujo de tubería	24
Figura 6.11. Dibujo dimensionado en milímetros.....	25
Figura 6.12. Explicación gráfica del concepto de tolerancia	26
Figura 6.13. Ejemplo de tolerancia dimensional.....	27
Figura 6.14. Algunos tipos de deformación geométrica	28
Figura 6.15. Ejemplo de aplicación de tolerancia de paralelismo según Norma ISO...	29
Figura 6.16. Eje dentado con diferentes tipos de tolerancias geométricas	30
Figura 6.17. Contornos superficiales	31
Figura 6.18. Forma y significado de la simbología para la rugosidad.....	32
Figura 7.1. Foto de Caja reductora antes de desensamble.....	35
Figura 7.2. Eje con sus ruedas dentadas	36
Figura 7.3. Piezas numeradas para facilitar el proceso de montaje posterior.....	36
Figura 7.4. Separación de las ruedas de los ejes con extractor.....	37
Figura 7.5. Piezas varias de la caja reductora después del desmontaje.....	37

Figura 7.6. Huellas de ruedas dentadas para determinar los paso y ángulo de hélice...	38
Figura 7.7. Medición del Angulo de la hélice.....	39
Figura 7.8. Medición de los diámetros primitivos de las ruedas.....	39
Figura 7.9. Bosquejos a mano alzada con medidas.....	42
Figura 7.10. Máquina de medición de coordenadas.....	43
Figura 7.11. plano con tolerancias geométricas obtenidas en la máquina de coordenadas.	43
Figura 8.1. Herramientas usadas para obtener las medidas de los elementos.....	44
Figura 8.2. Máquina de medición por coordenadas.....	45

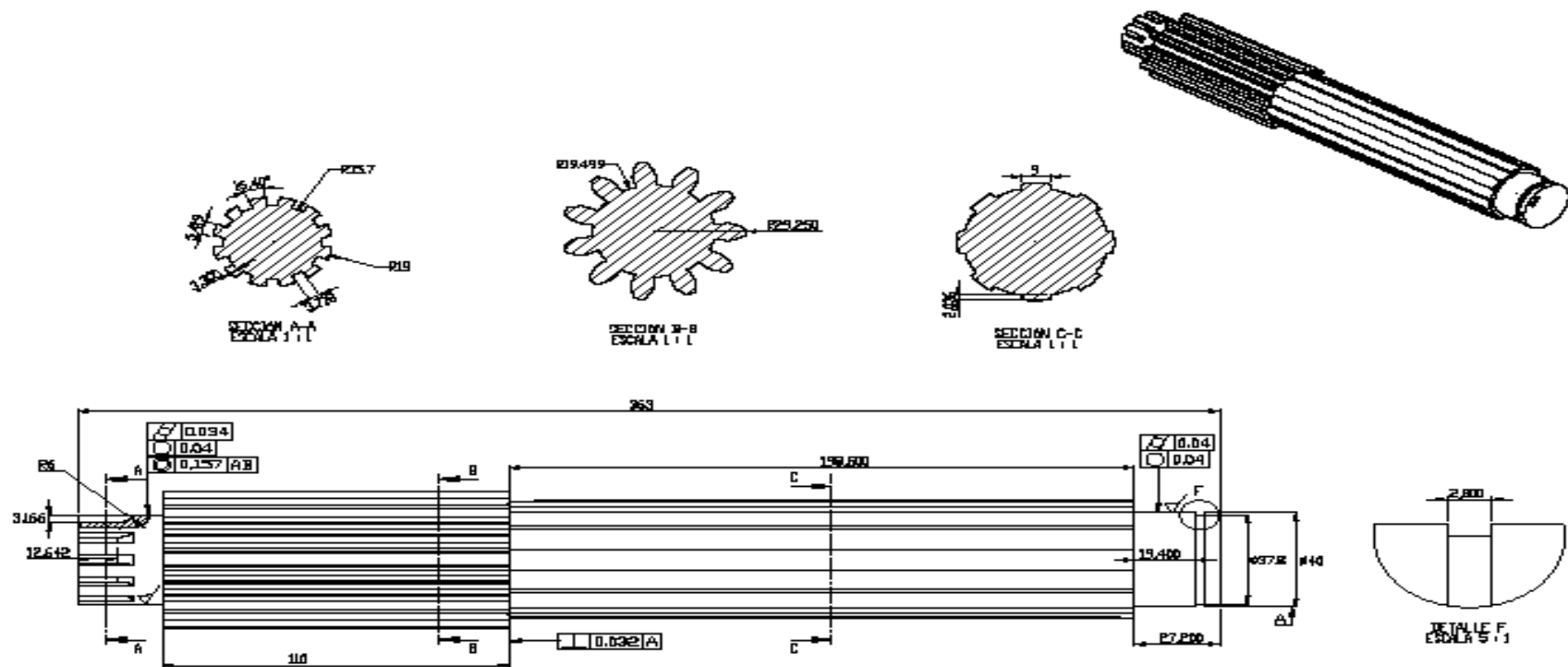
Plano 2. Arandela de A





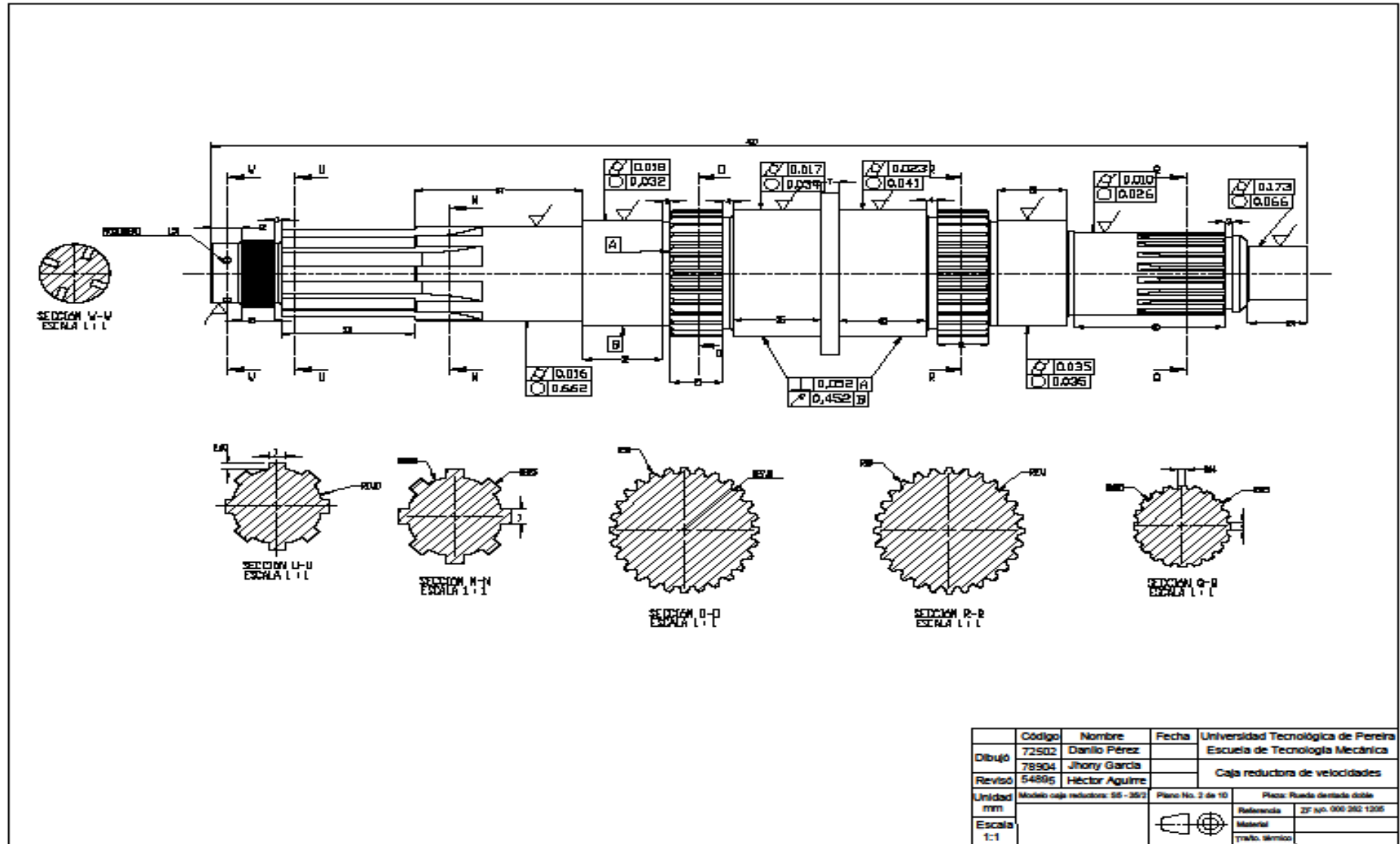
Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira
72502	Daniilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica
Dibujo	78904 Jhony García		Caja reductora de velocidades
Revisó	54895 Héctor Aguilera		
Unidad	Modelo caja reductora: 95 - 352	Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble
mm			Referencia
Escala	1:1		Material
			Tratamiento

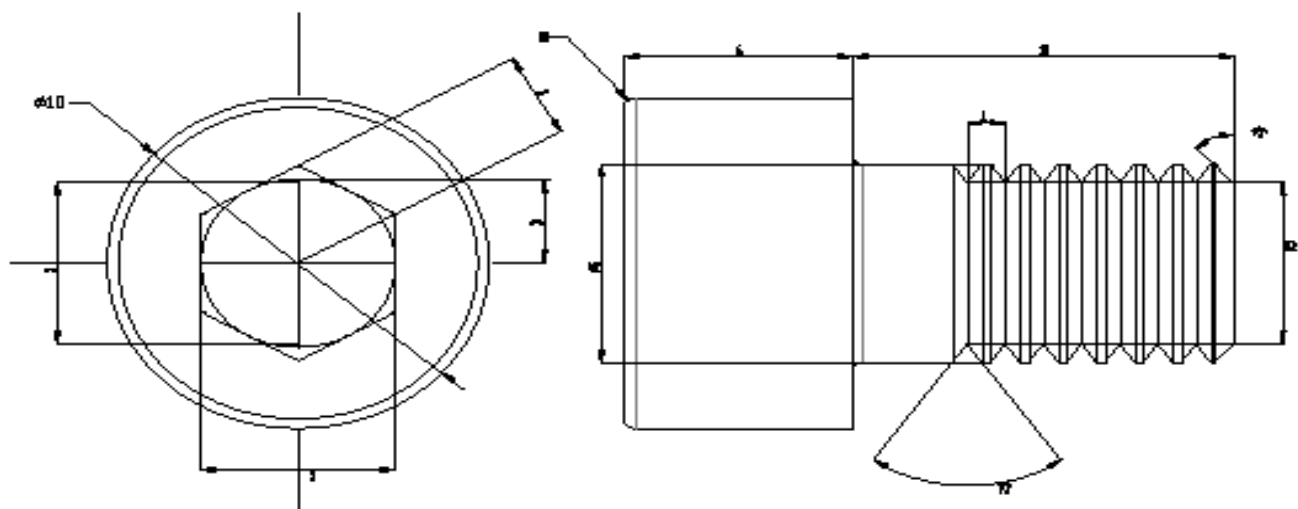
Plano 4. Eje C



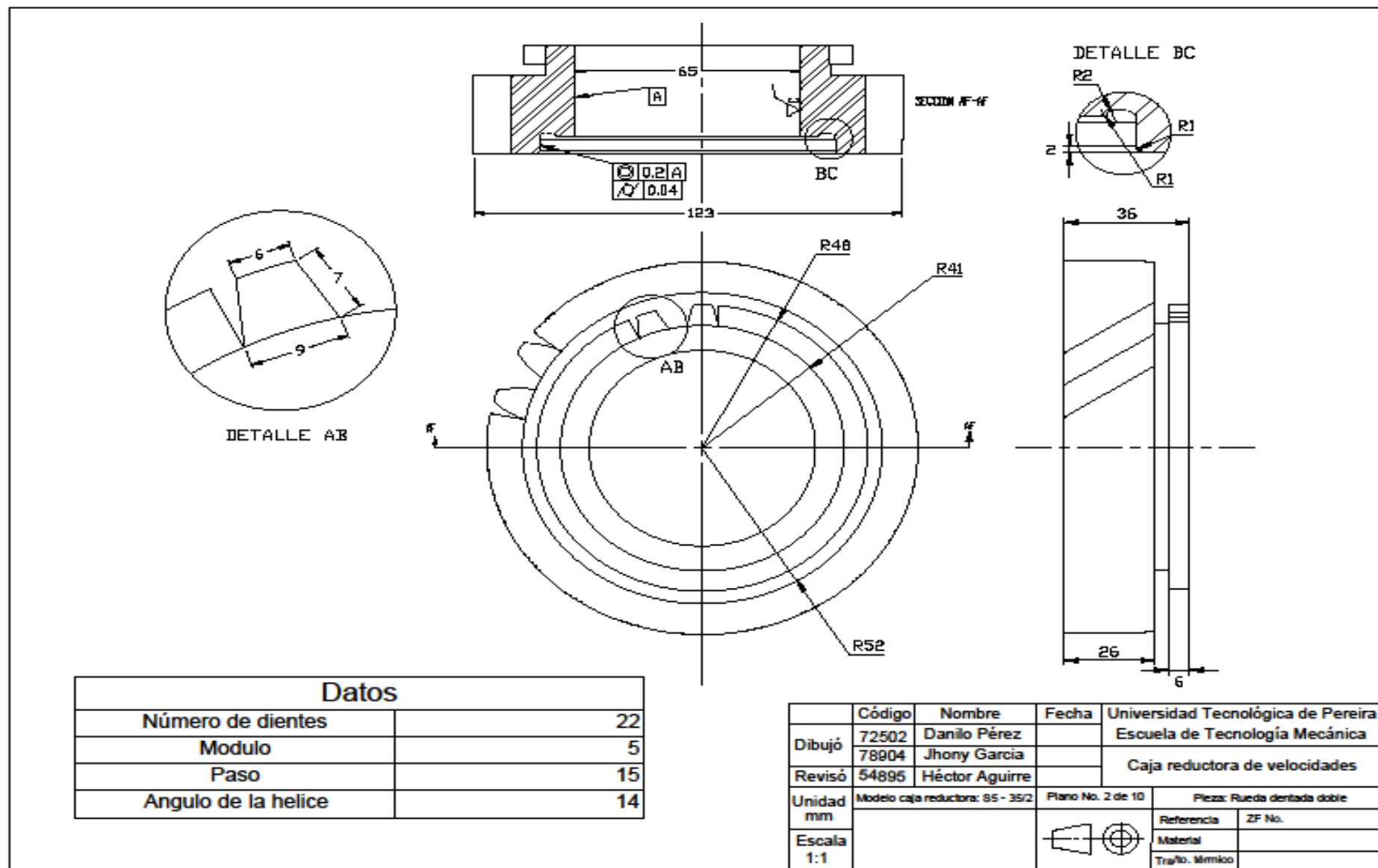
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica
Dibujo	72502	Garrido Pérez Jhony García		
Revisó	54895	Héctor Aguirre		Caja reductora de velocidades
Unidad mm	Modelo caja reductora: 05 - 3502		Plano No. 2 de 10	Placa: Placa dentada doble
Escala 1:1			Referencia Material Trabajo, eléctrico	ZF No. 000 250 1502

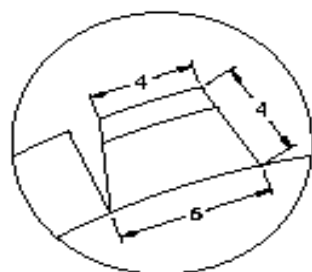
Plano 5. Eje último



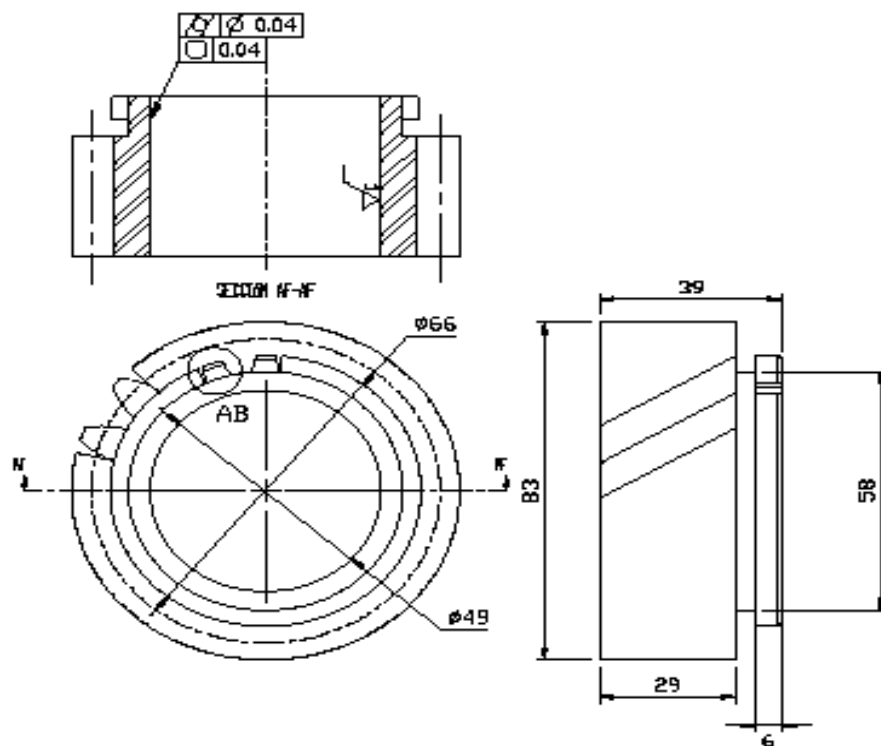


	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniño Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No.
				Materia	
				Trafo. térmico	





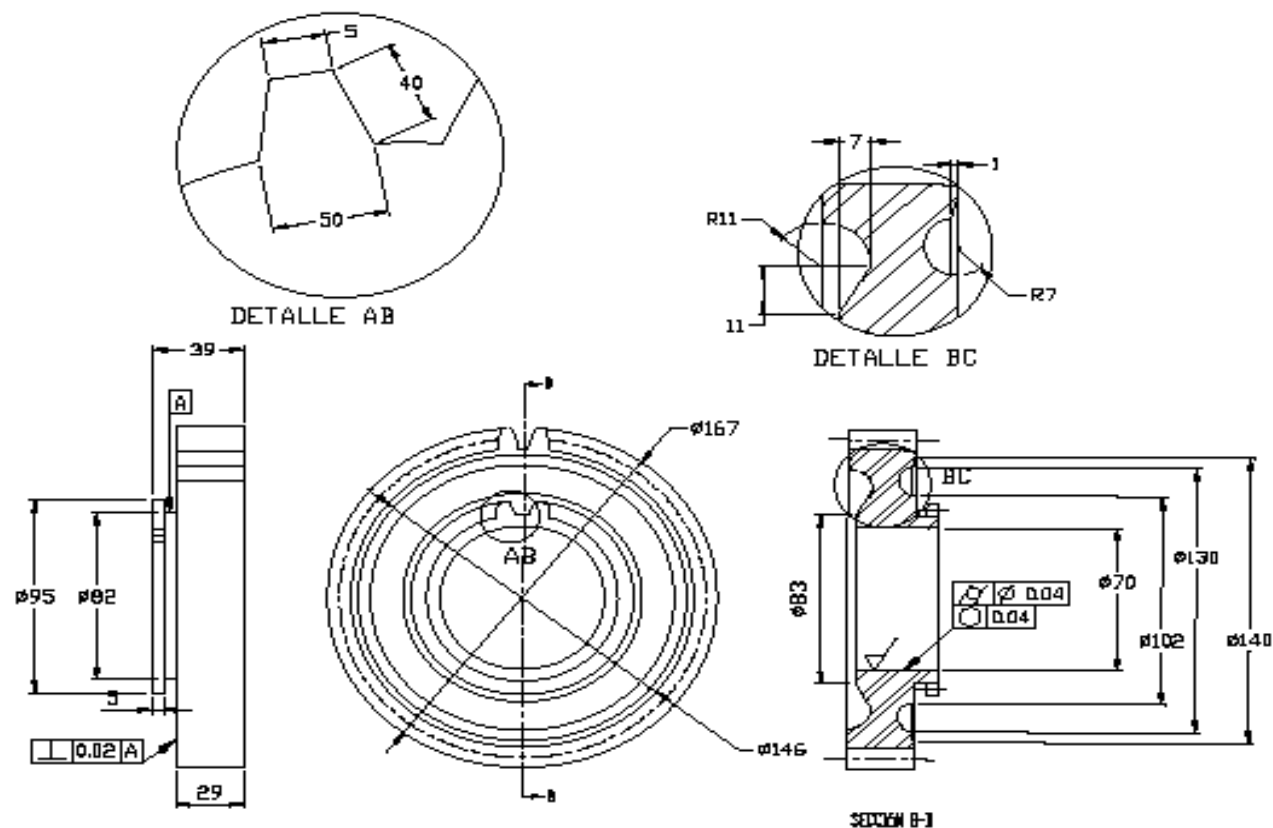
DETALLE AB



Datos rueda dentada

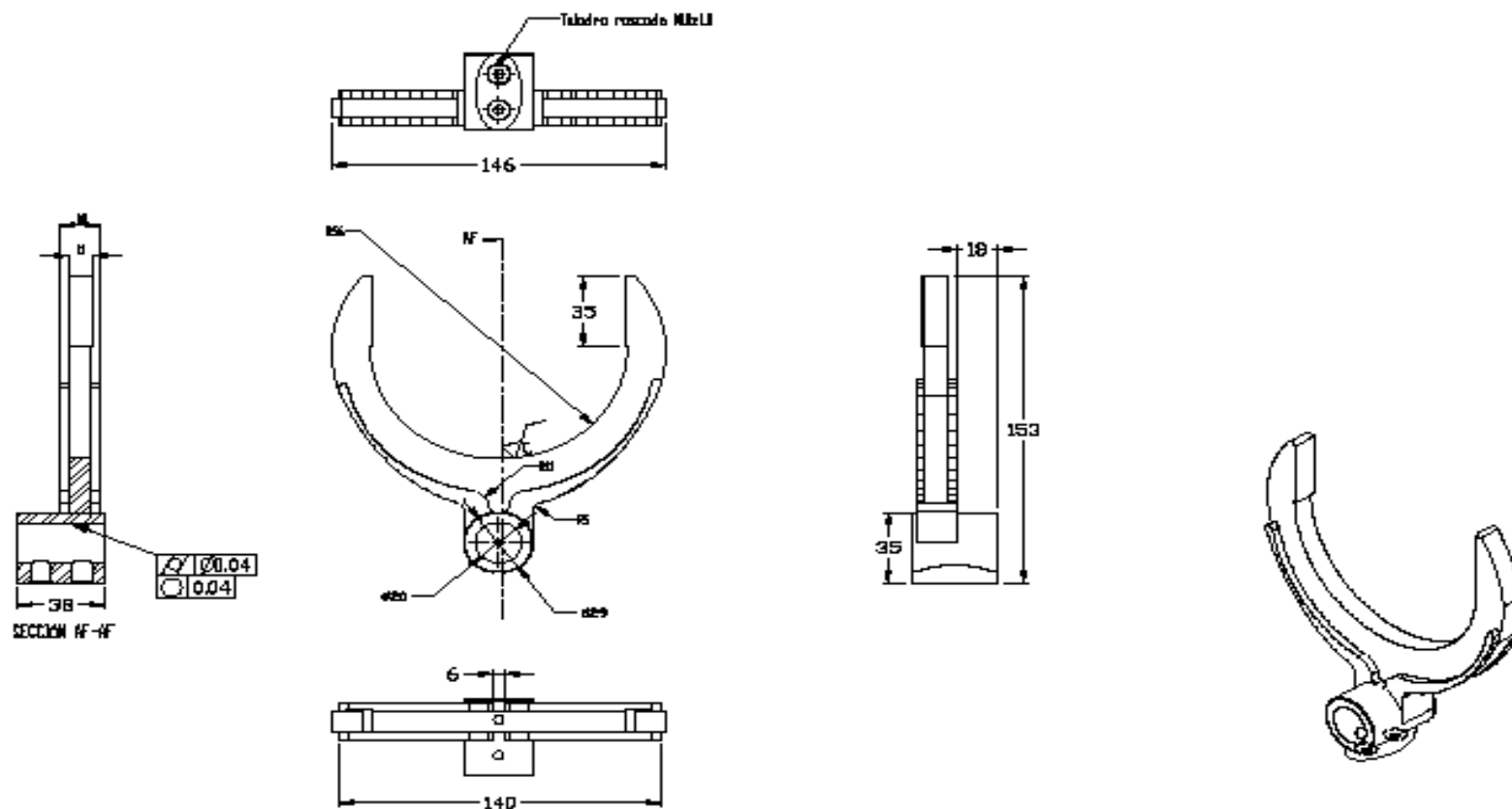
Módulo normal	5
Número de dientes	28
Paso normal	16
Angulo de la hélice	20

	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
Revisó	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
	54895	Héctor Aguirre			
Unidad	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
mm				Referencia	ZF No. 1238304532
Escala				Materia	
1:1				Trafo. Mismo	

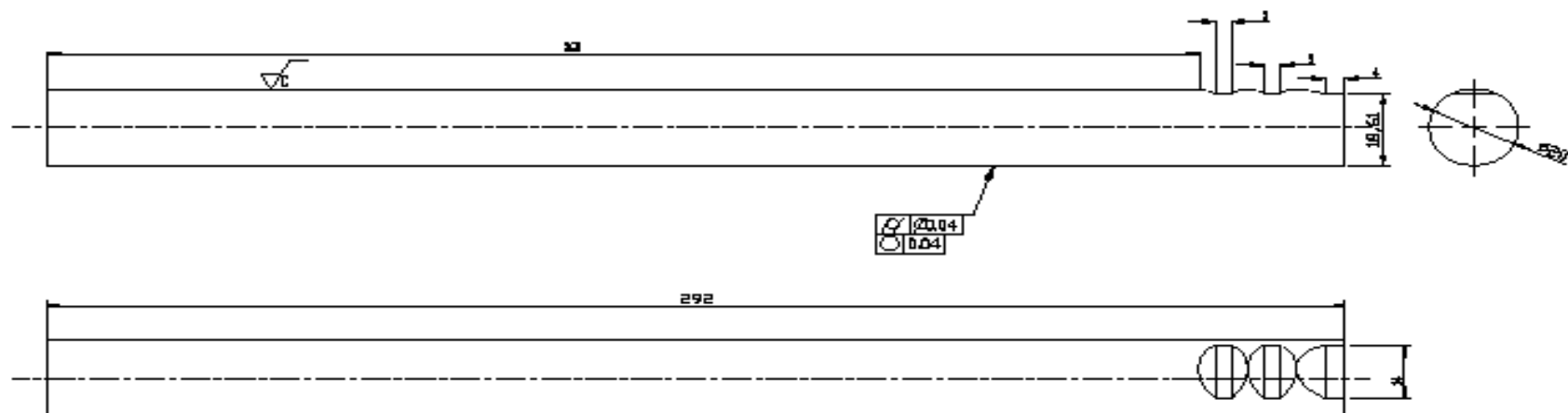


Datos rueda dentada pequeña	
Número de dientes	32
Modulo	4,50
Paso	14

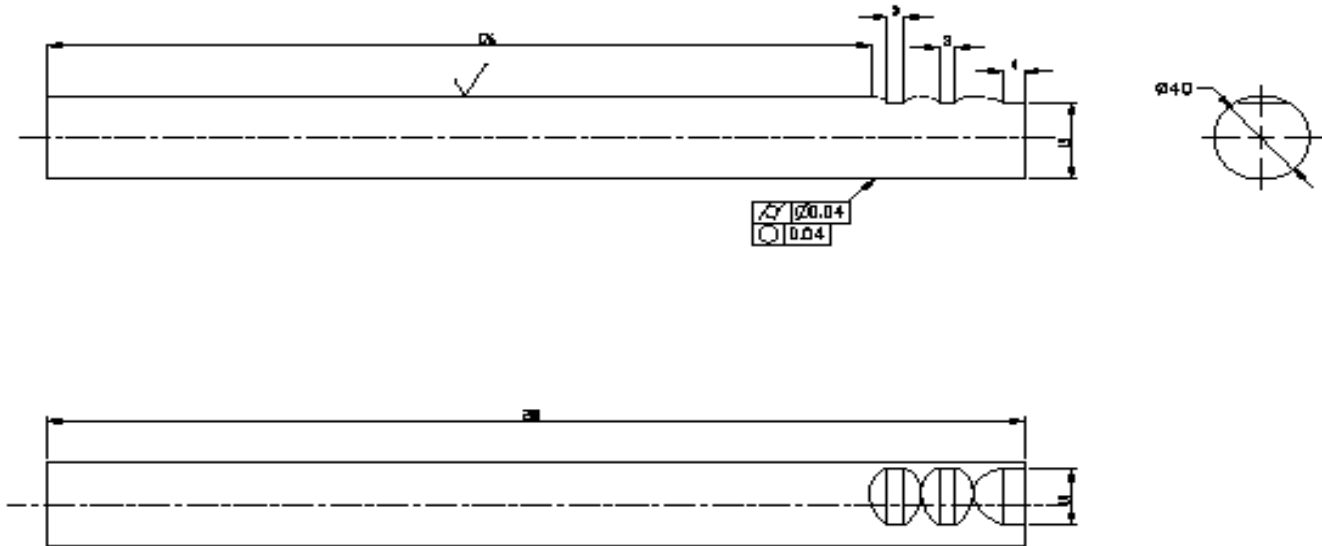
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Material	
				Traito. térmico	



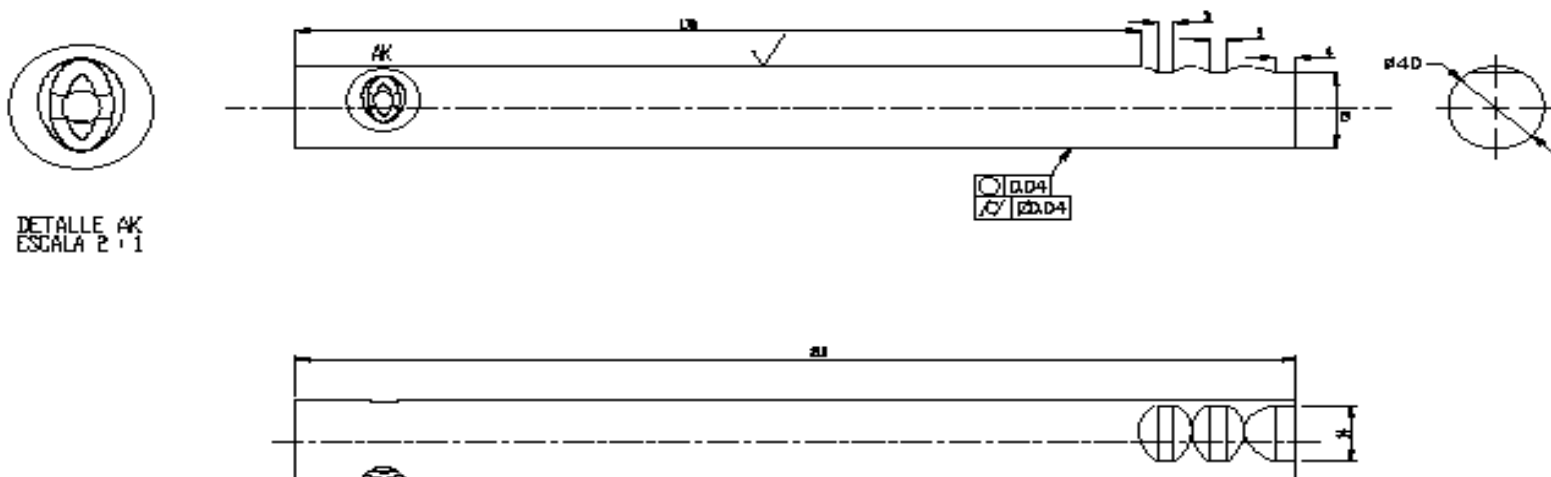
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniño Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony García		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1			Referencia	ZF No. 1238 306 171	
			Material Trabajo. Técnico		



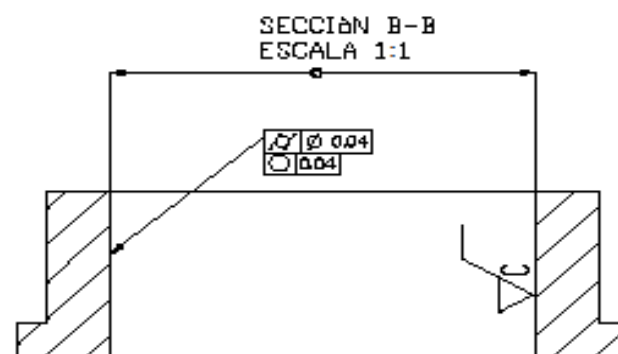
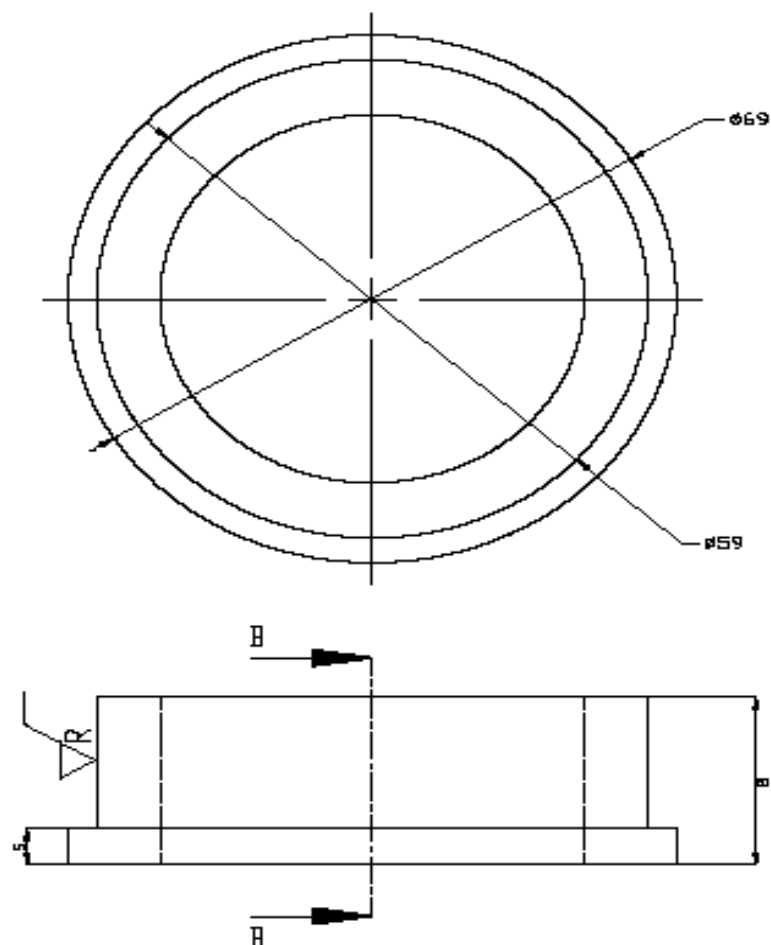
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 65 - 35/2		Piano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238 306 047
				Material	
				Tratamiento	




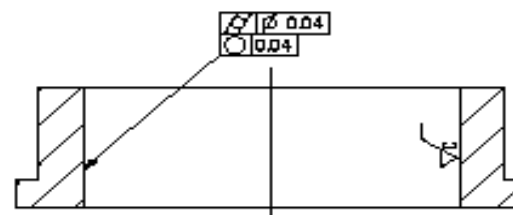
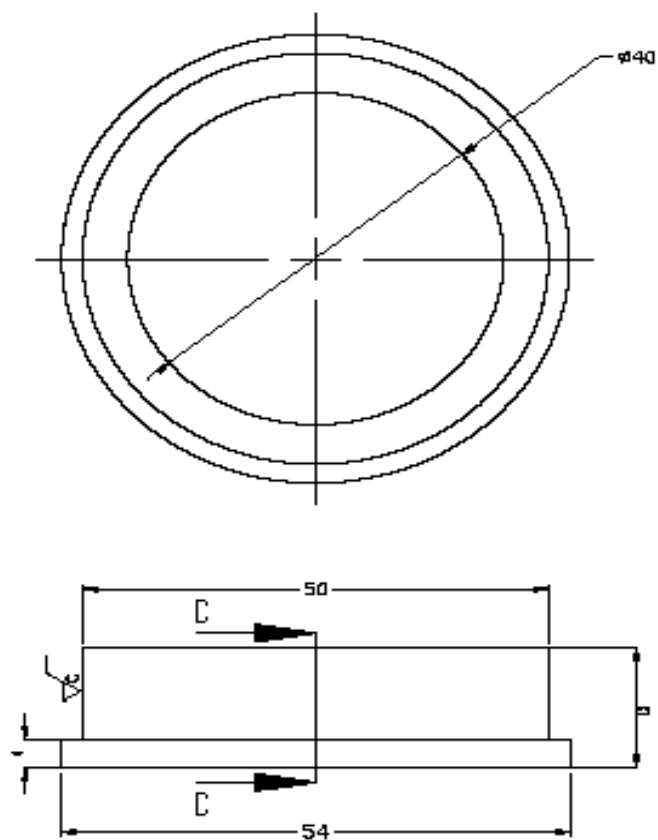
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Piano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
mm				Referencia	ZF No. 1238 306 198
Escala				Material	
1:1				Traño. térmico	



	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238 306 152
				Material	
				Tra/to. térmico	

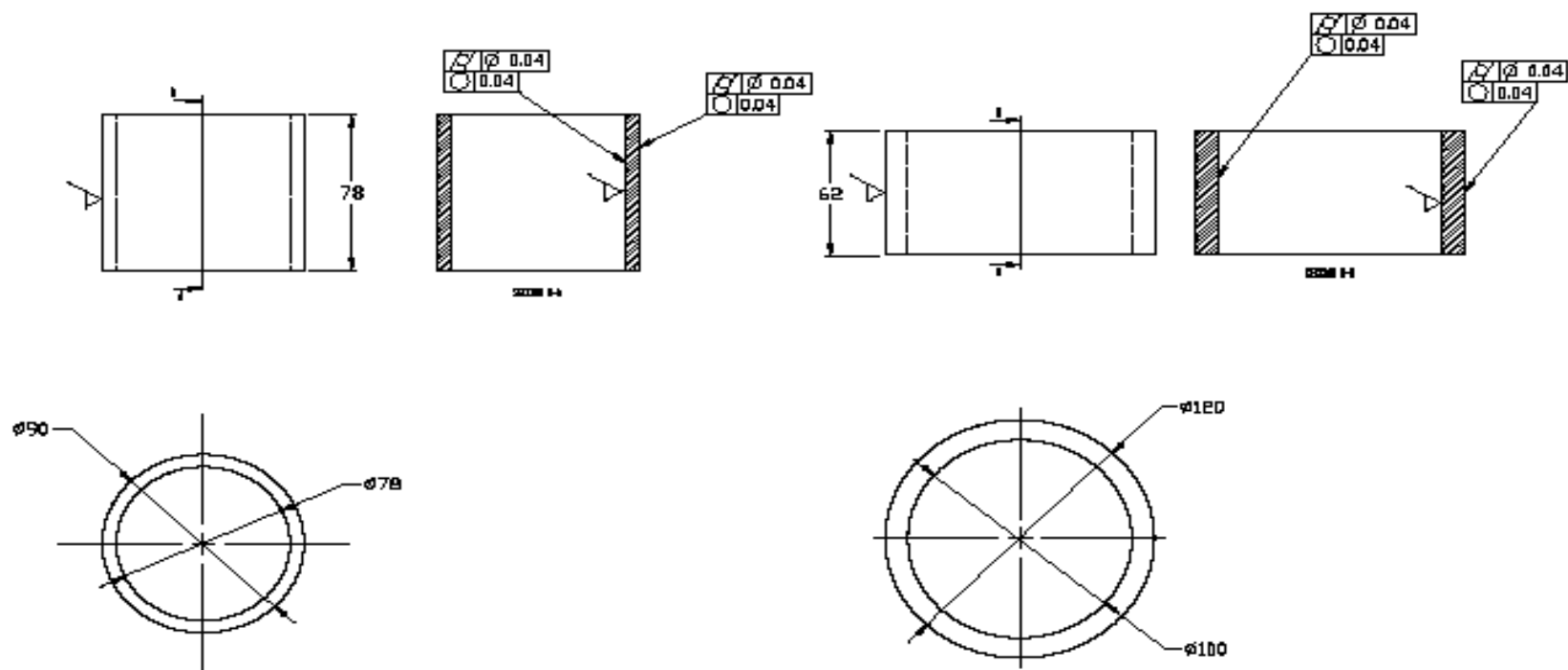


	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1			Referencia	ZF No. 1238304532	

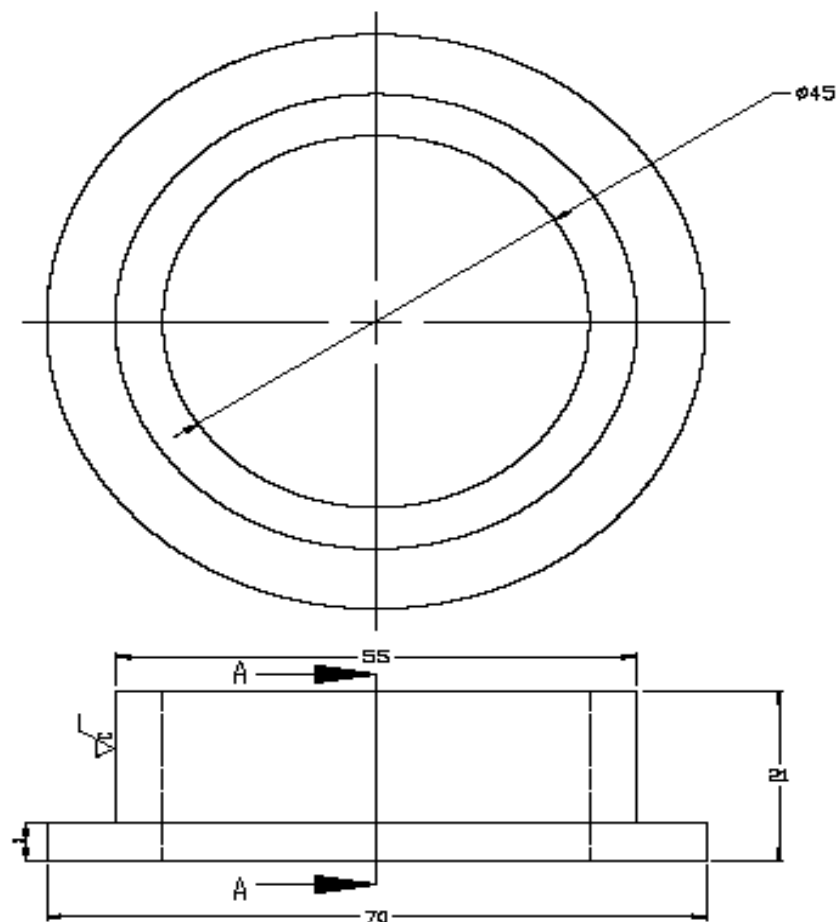


SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 1

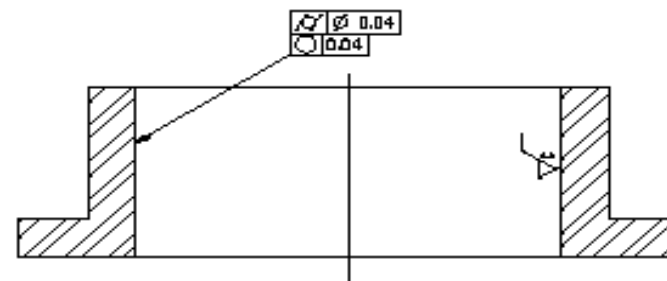
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Piano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Materia	
				Tamaño. Mm	



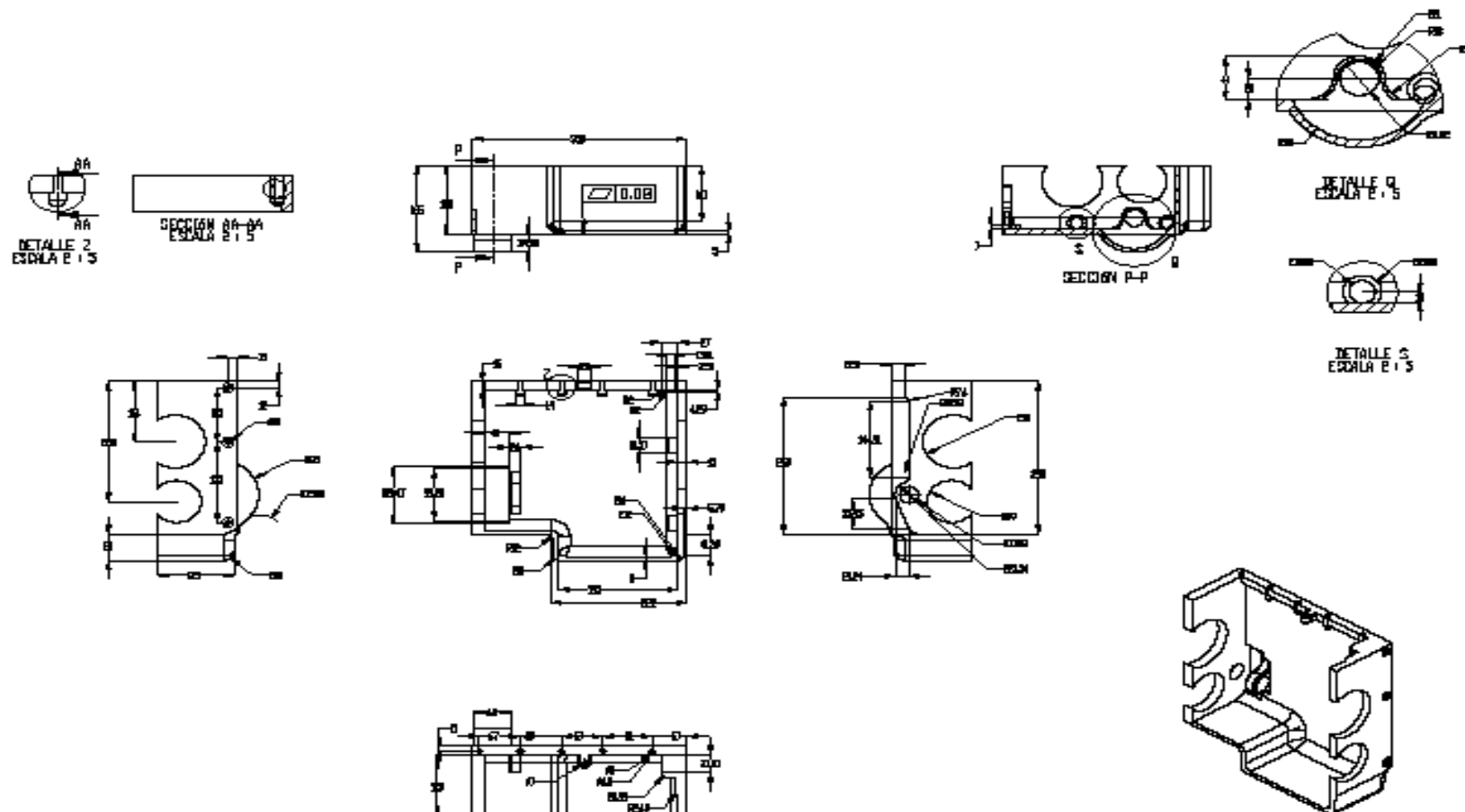
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 95 - 35/2		Piano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Material	
				Tra/to. térmico	



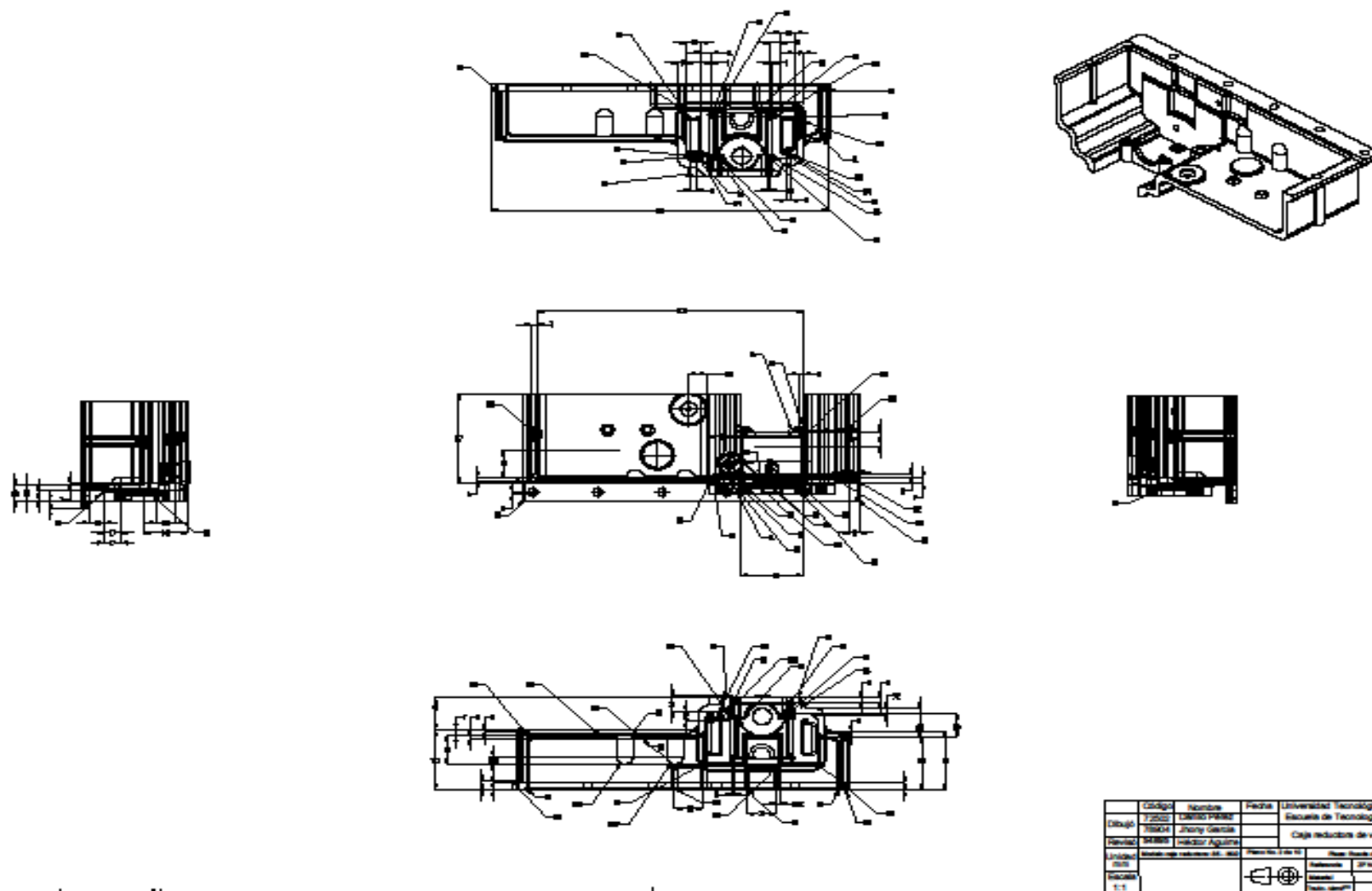
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:1



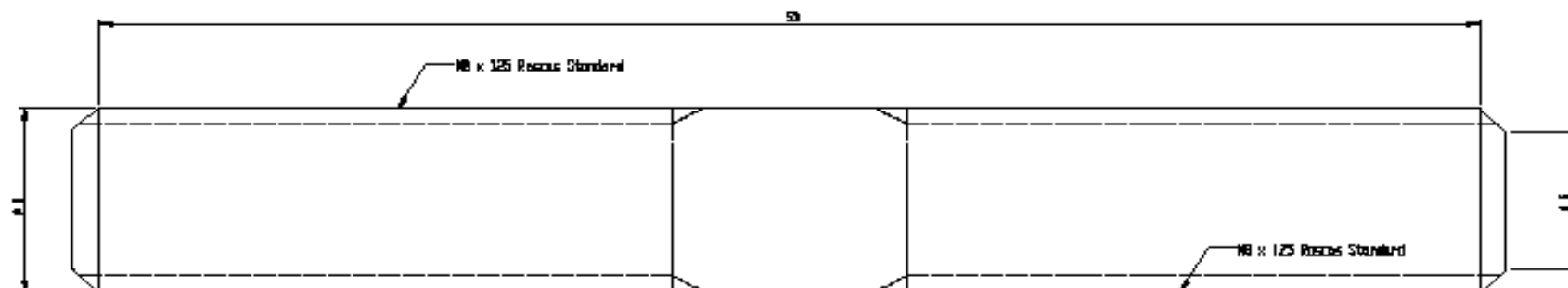
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony García		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 55 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Materia	
				Tra/to. térmico	



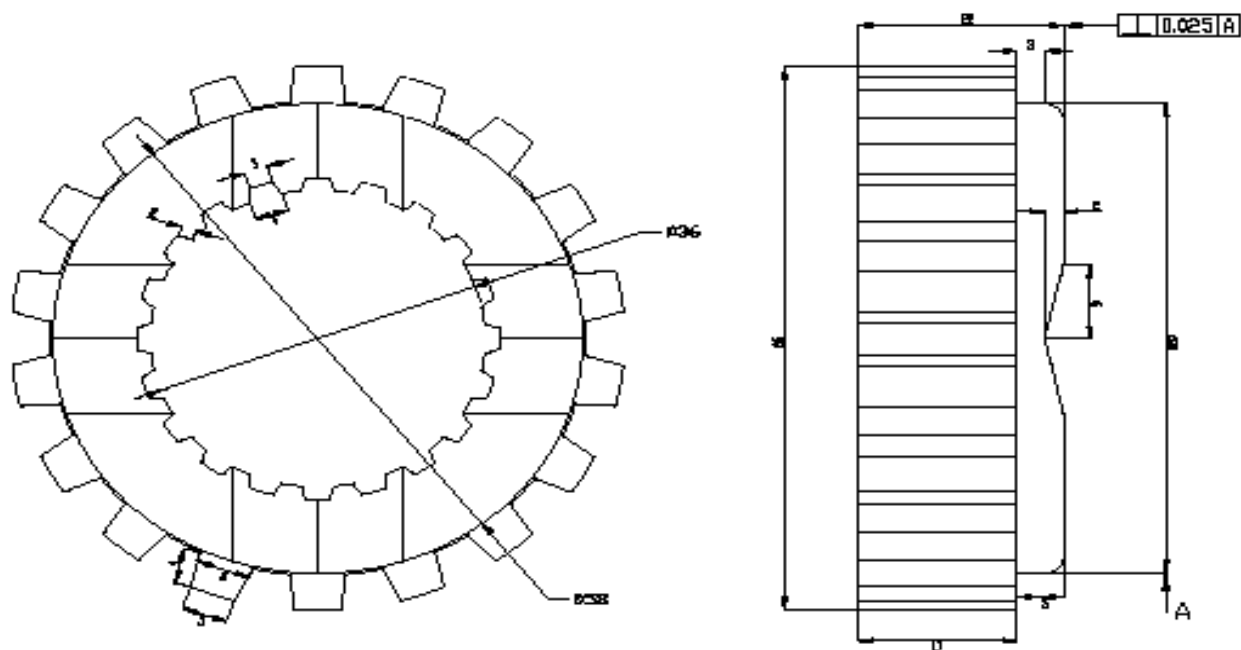
Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira
72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica
Dibujó	78904	Jhony García	
Revisó	54895	Héctor Aguirre	Caja reductora de velocidades
Unidad	Modelo caja reductora: 55 - 350	Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble
mm			Referencia
2F No. 125804832			
Material			
Tratamiento			
Escala			
1:1			



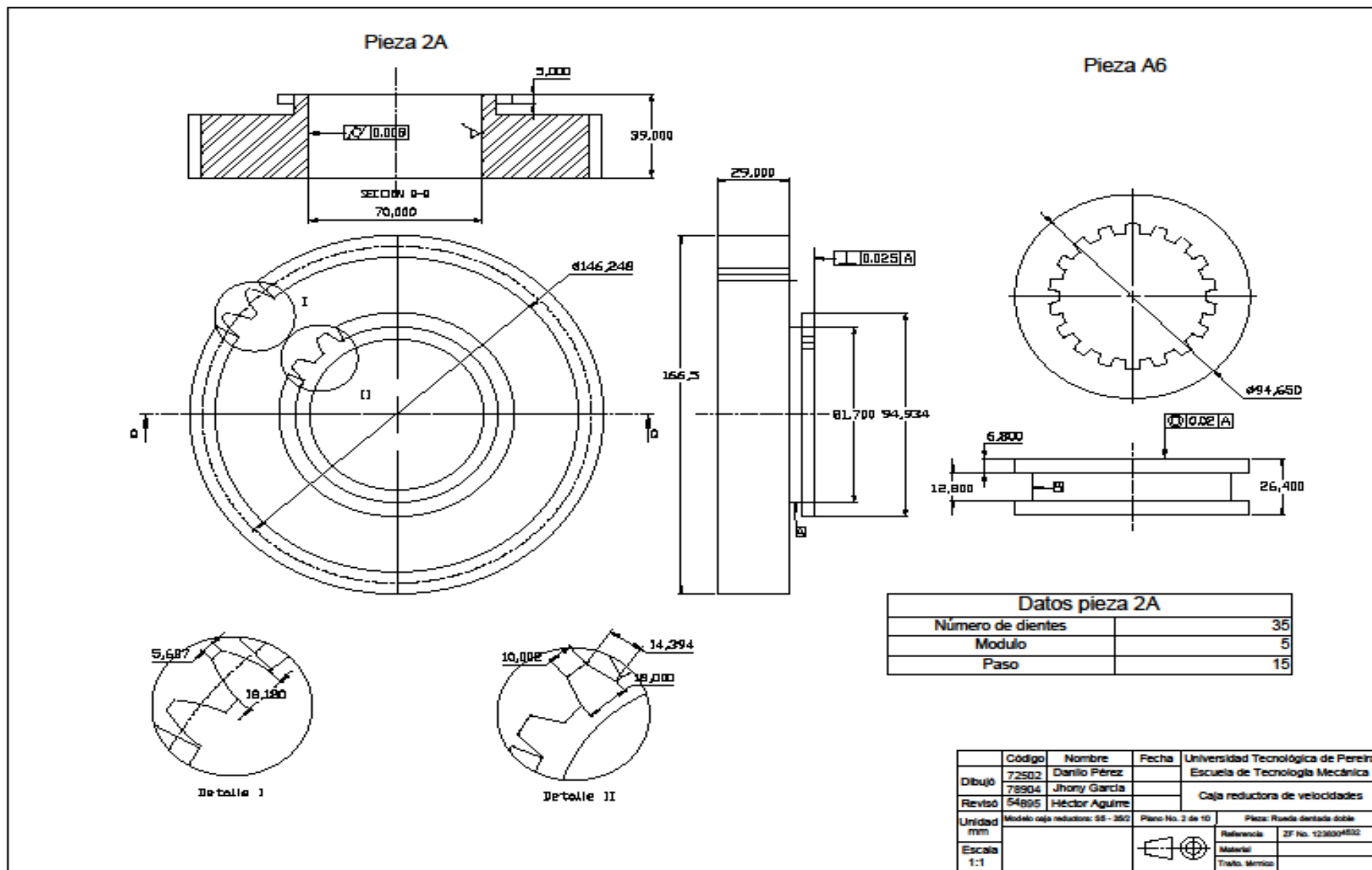
300 para uso en la obra

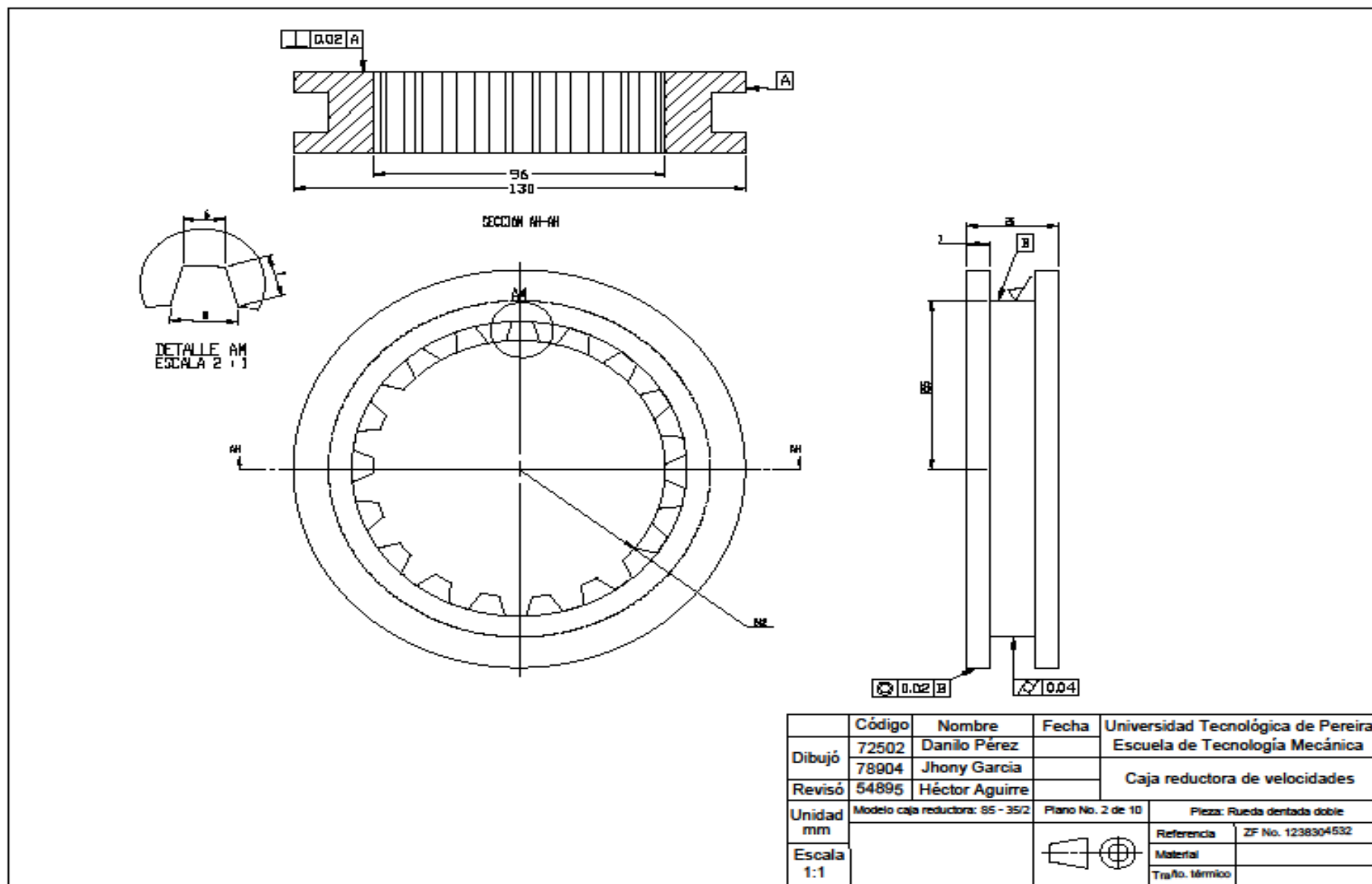


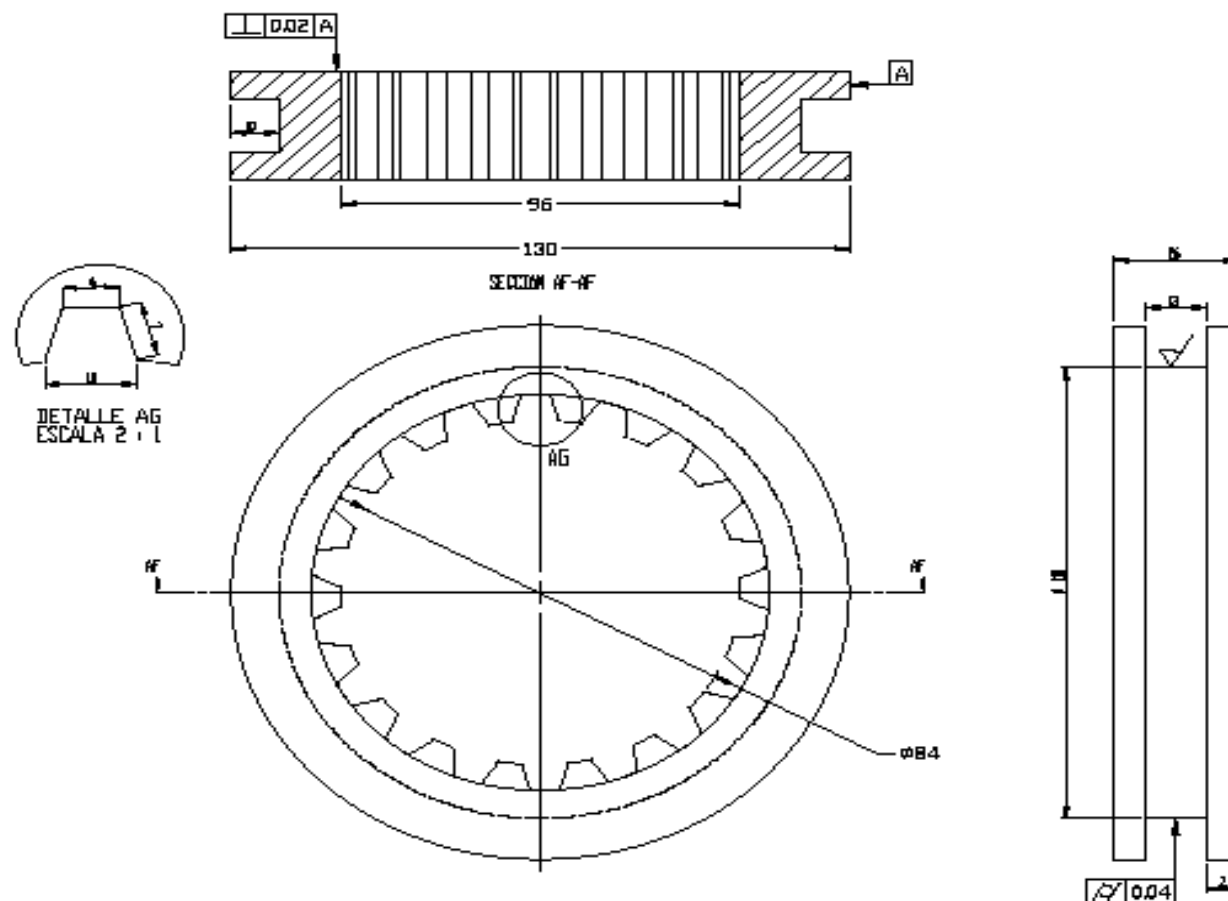
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No.
				Material	
				Trafo. térmico	



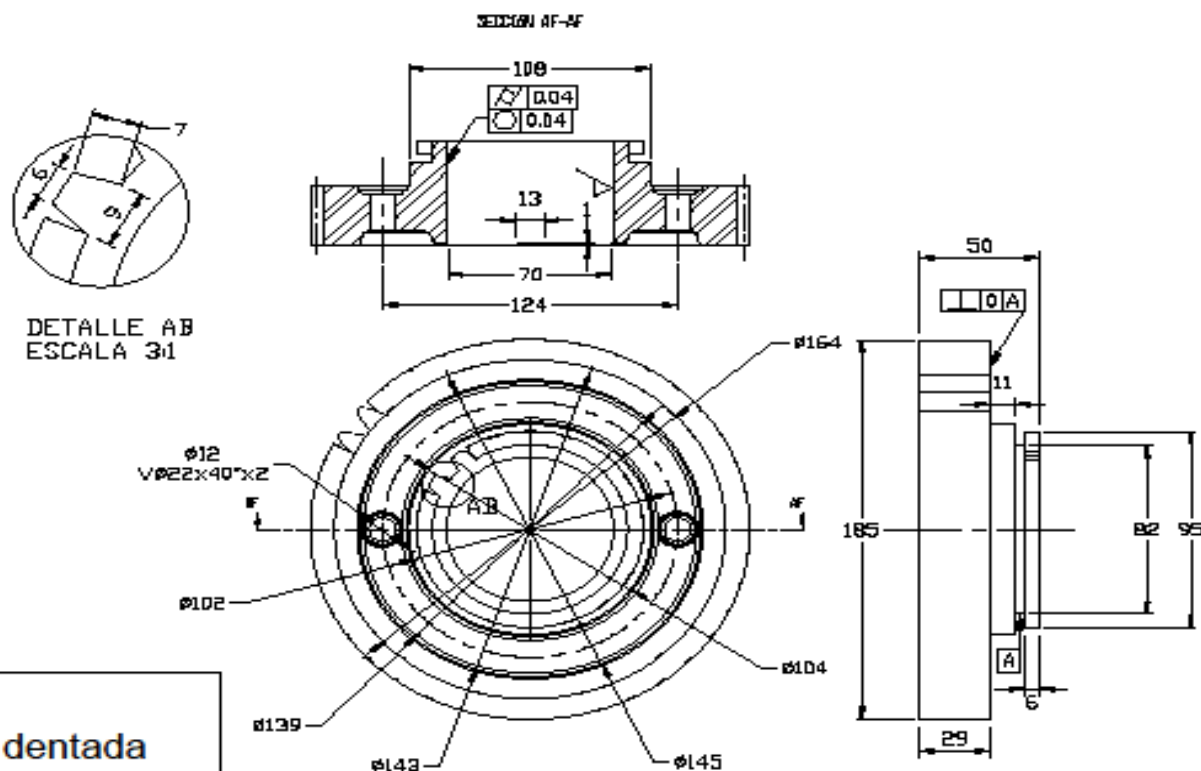
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony García		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Materia	
				Traído. Técnico	







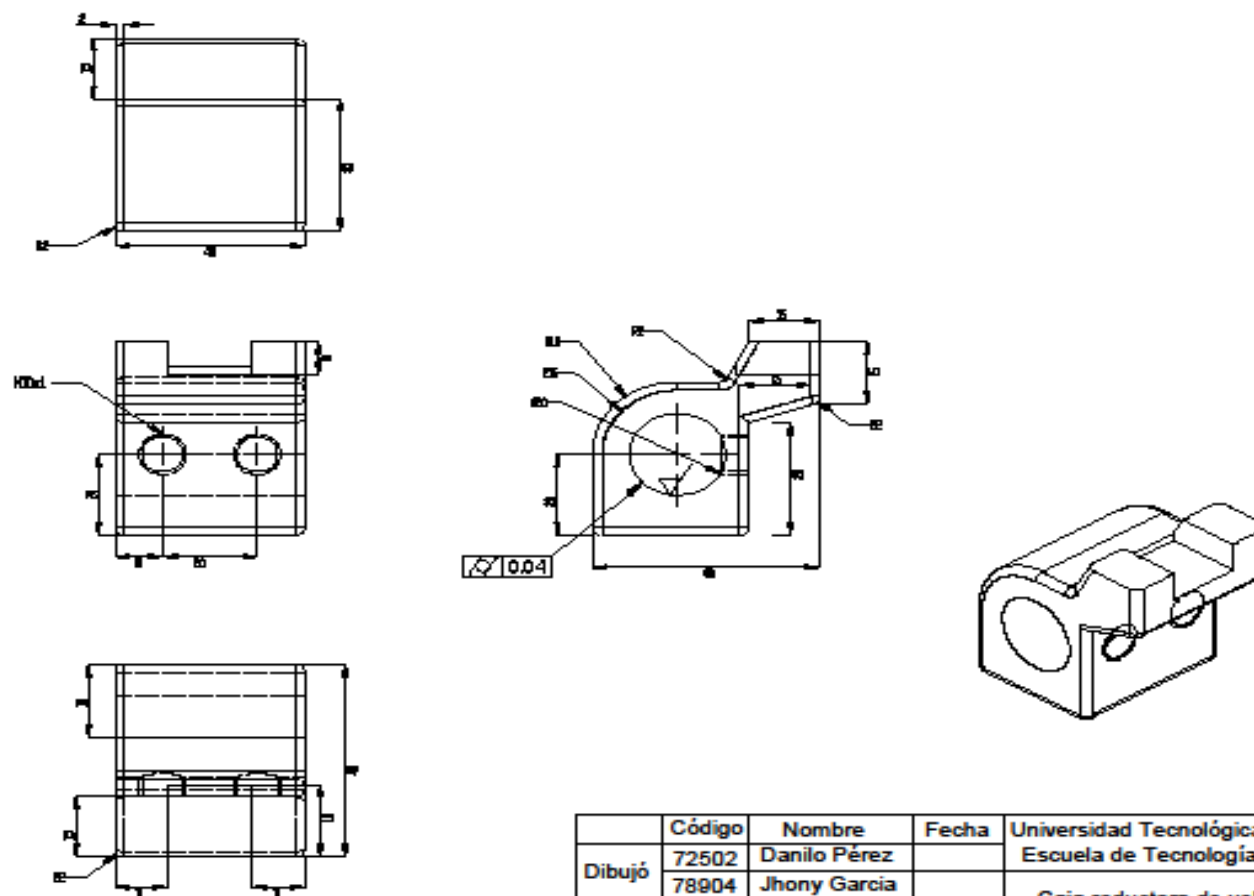
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Material	
				Traído de	



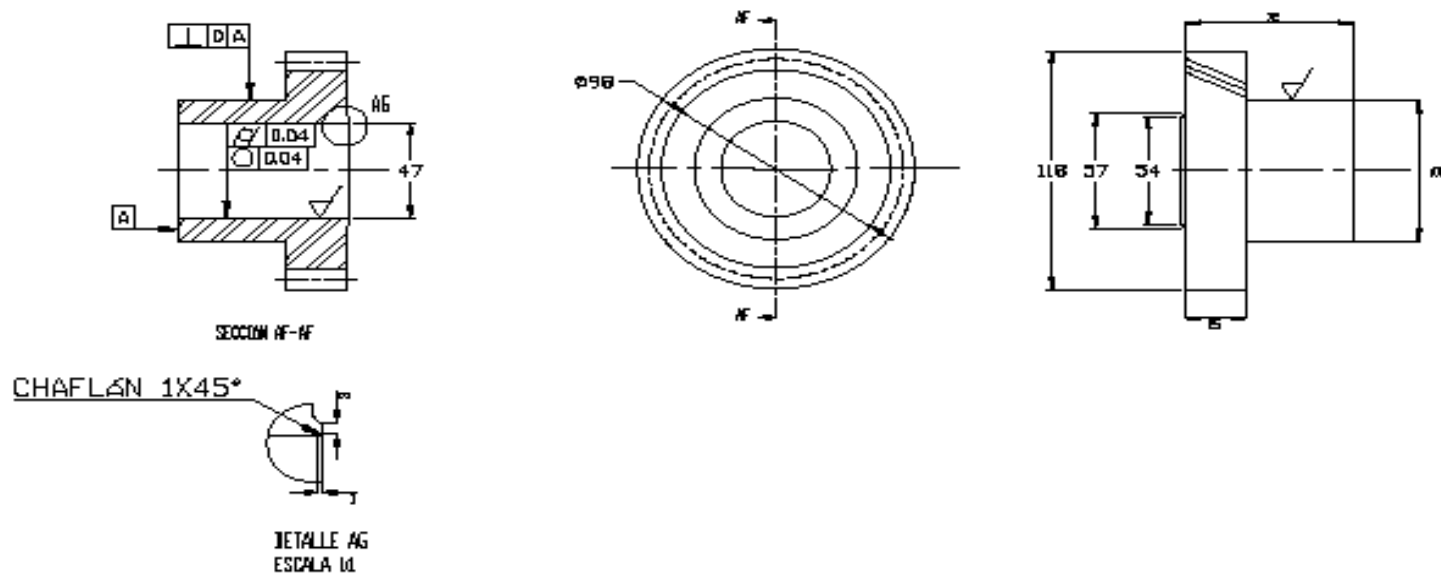
Datos rueda dentada

Módulo normal	5
Número de dientes	39
Paso normal	15

	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Material	
				Trota. Mismo	

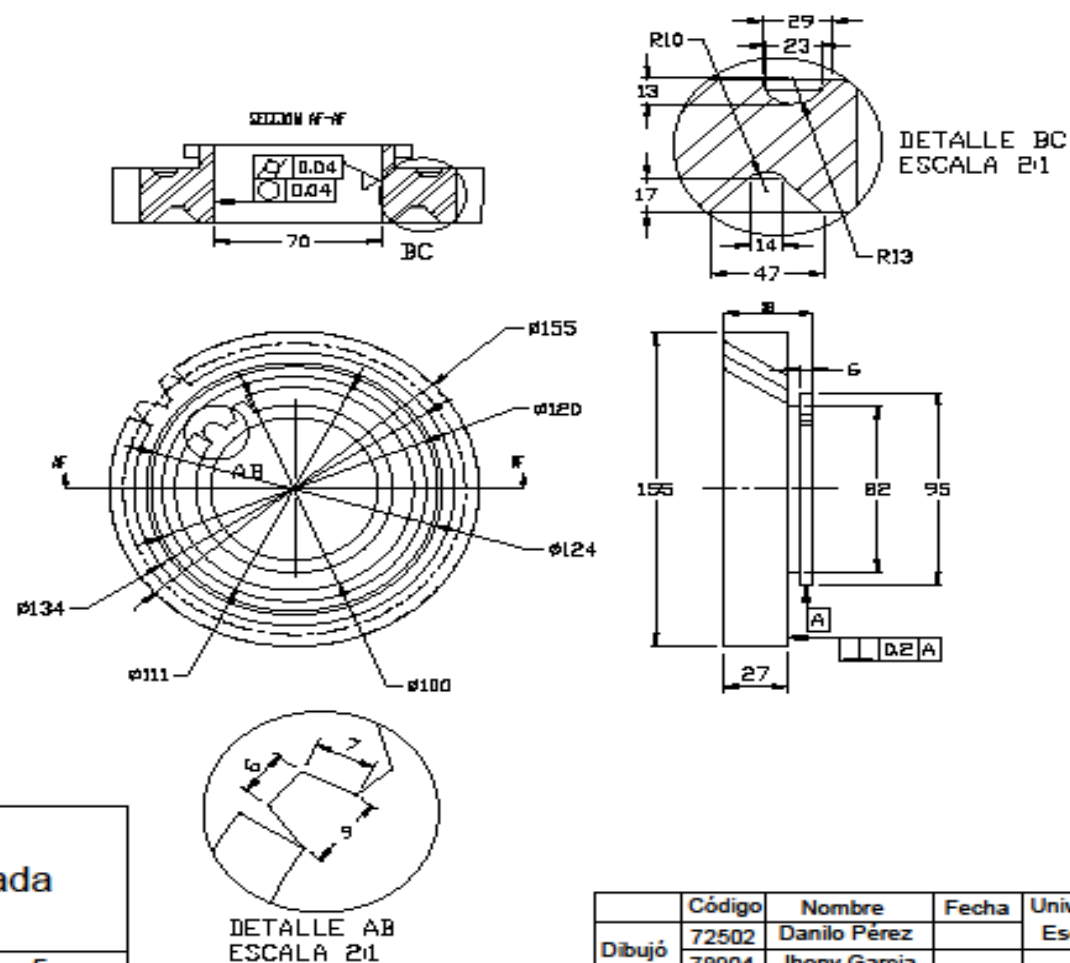


	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Daniño Pérez		Caja reductora de velocidades	
Revisó	78904	Jhony Garcia			
	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238 306 341
				Materia	
				Tratamiento	



Datos	
Número de dientes	15
Modulo	5
Paso	15
Angulo de la helice	15

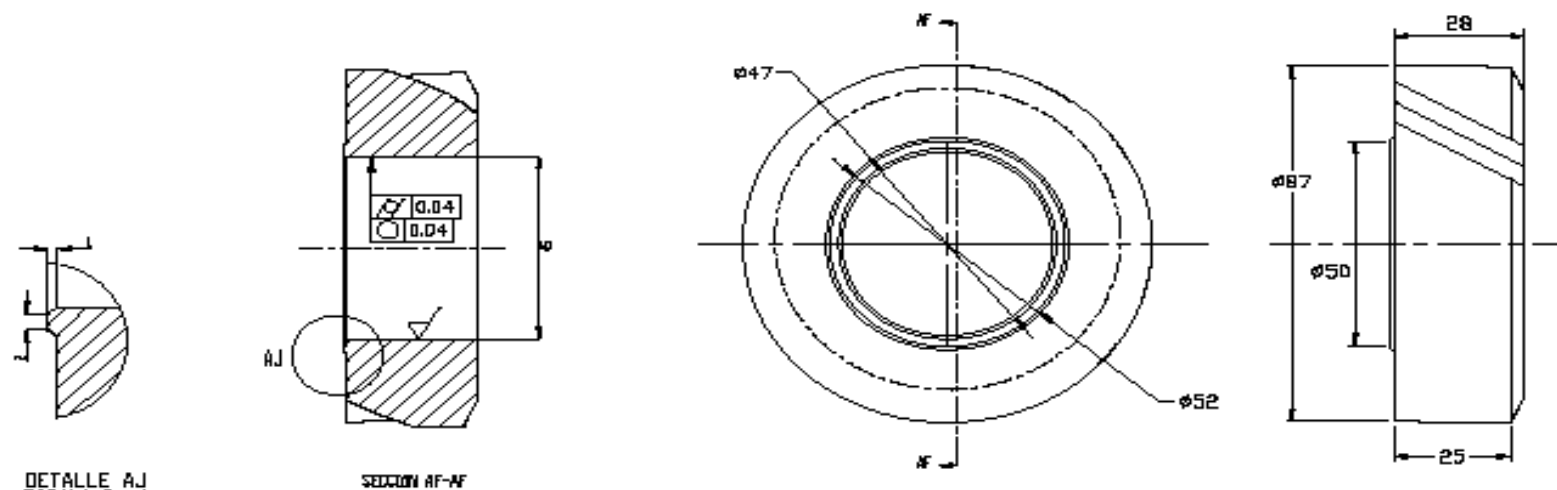
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 65 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1			Referencia	ZF No. 1238304532	
			Material		
				Traço. Mímico	



Datos rueda dentada

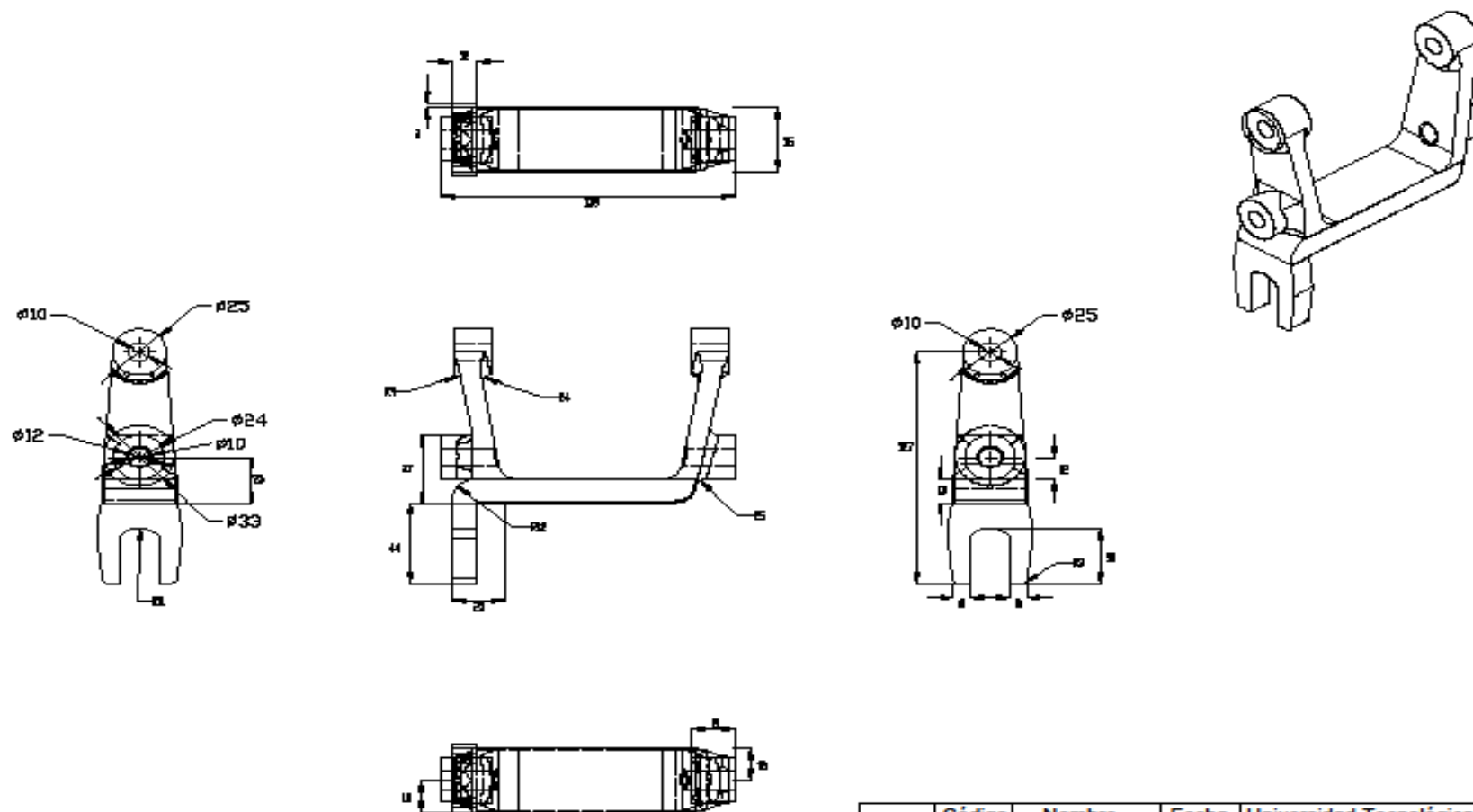
Módulo normal	5
Número de dientes	28
Paso normal	16
Ángulo de la hélice	20

	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Materia	
				Traño. térmico	

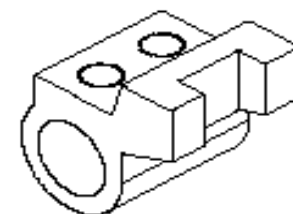
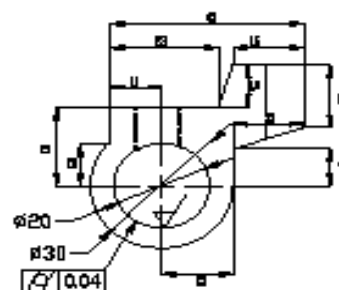
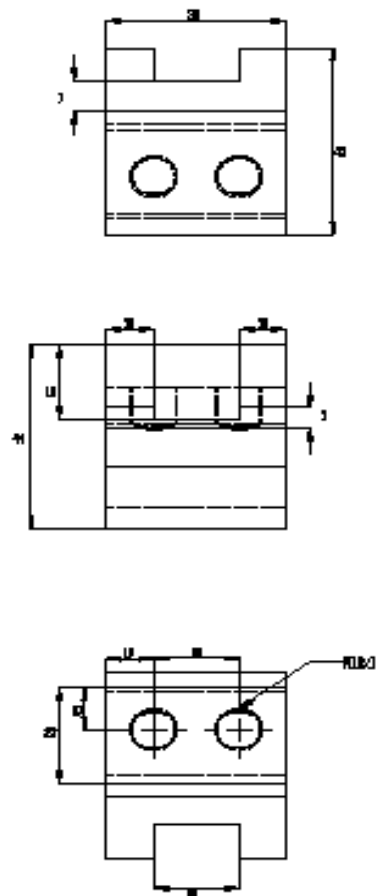


Datos	
Número de dientes	15
Modulo	5
Paso	16
Angulo de la helice	13

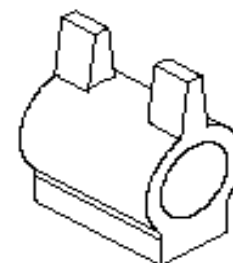
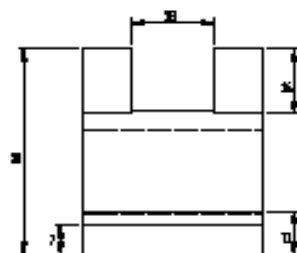
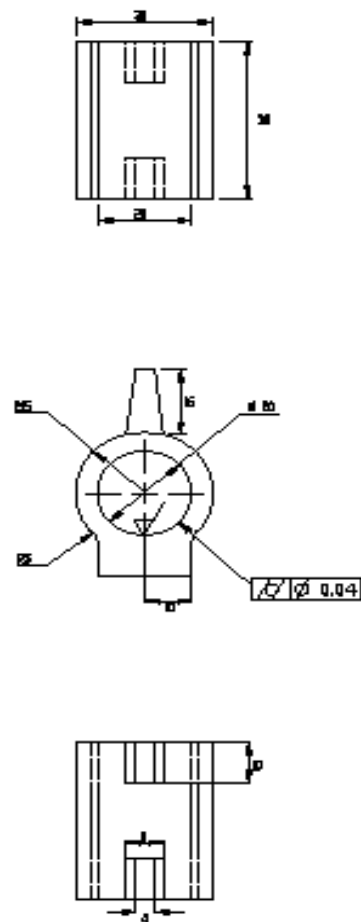
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238304532
				Materia	
				Trafo. térmico	



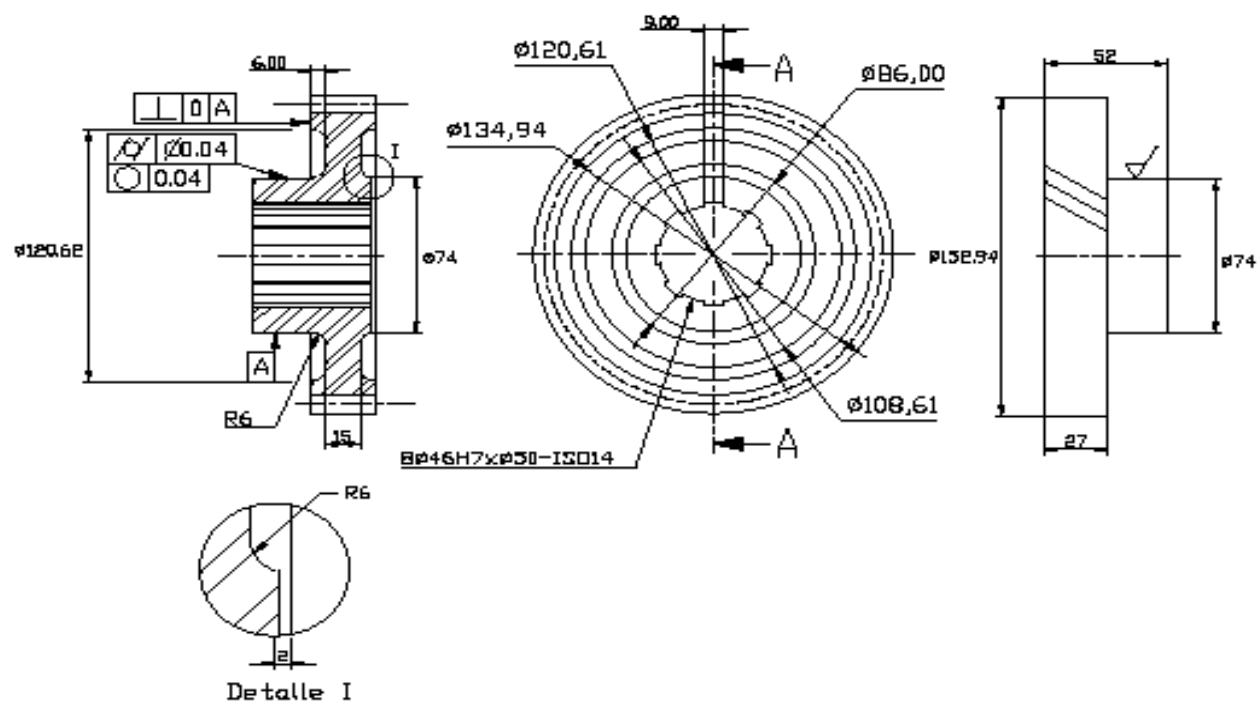
	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
mm				Referencia	ZF No. 1238304532
Escala 1:1				Material	
				Trat./to. térmico	



	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1			Referencia	ZF No. 1238 304 394	
				Material	
				Trafo. térmico	

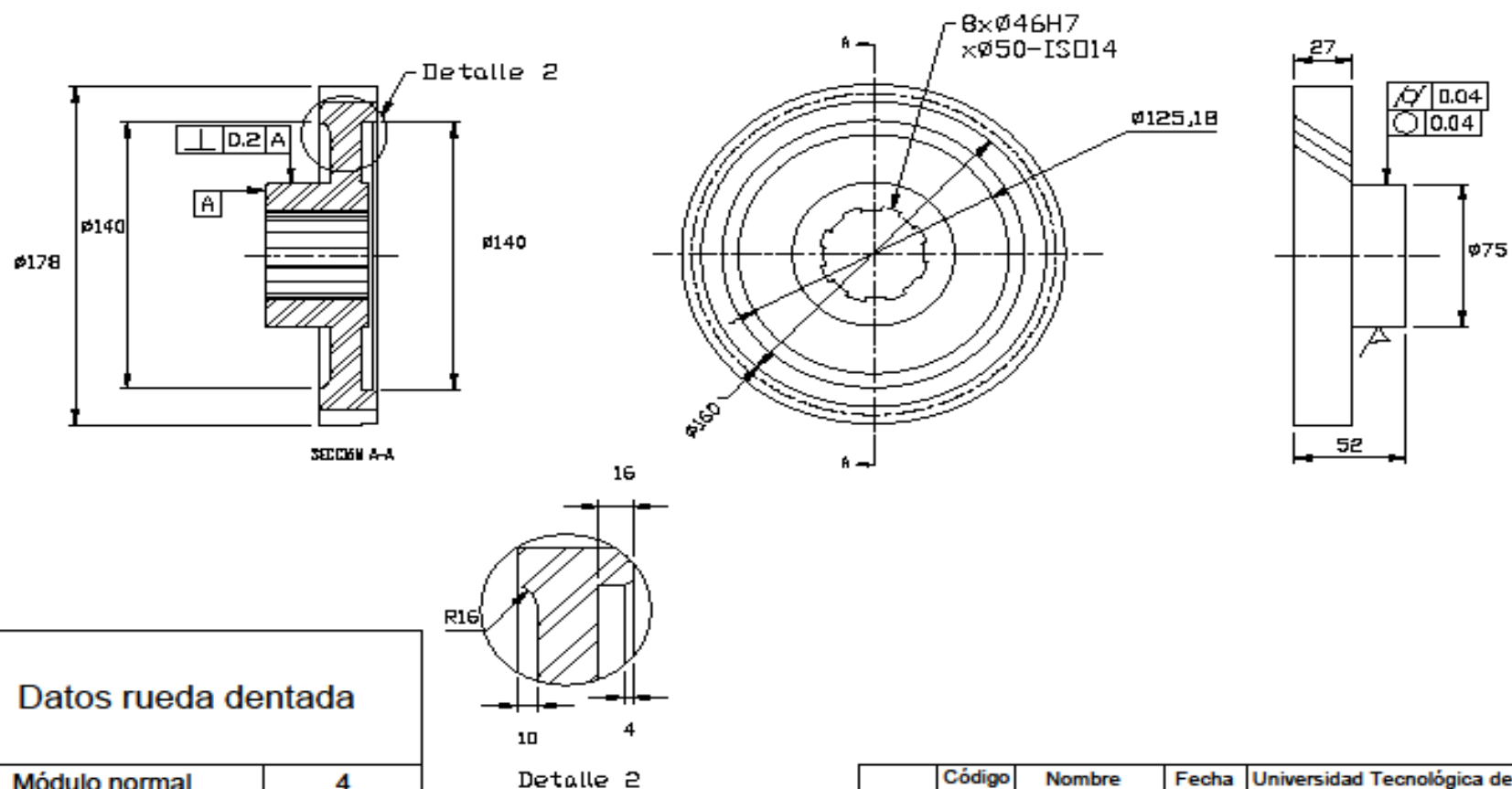


	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
mm				Referencia	ZF No. 1238 304 394
Escala				Material	
1:1				Trafo. térmico	



Datos	
Número de dientes	21
Modulo	5
Paso	16
Angulo de la helice	15

	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia		Caja reductora de velocidades	
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 55 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238 303 055
				Material	
				Trafo. térmico	

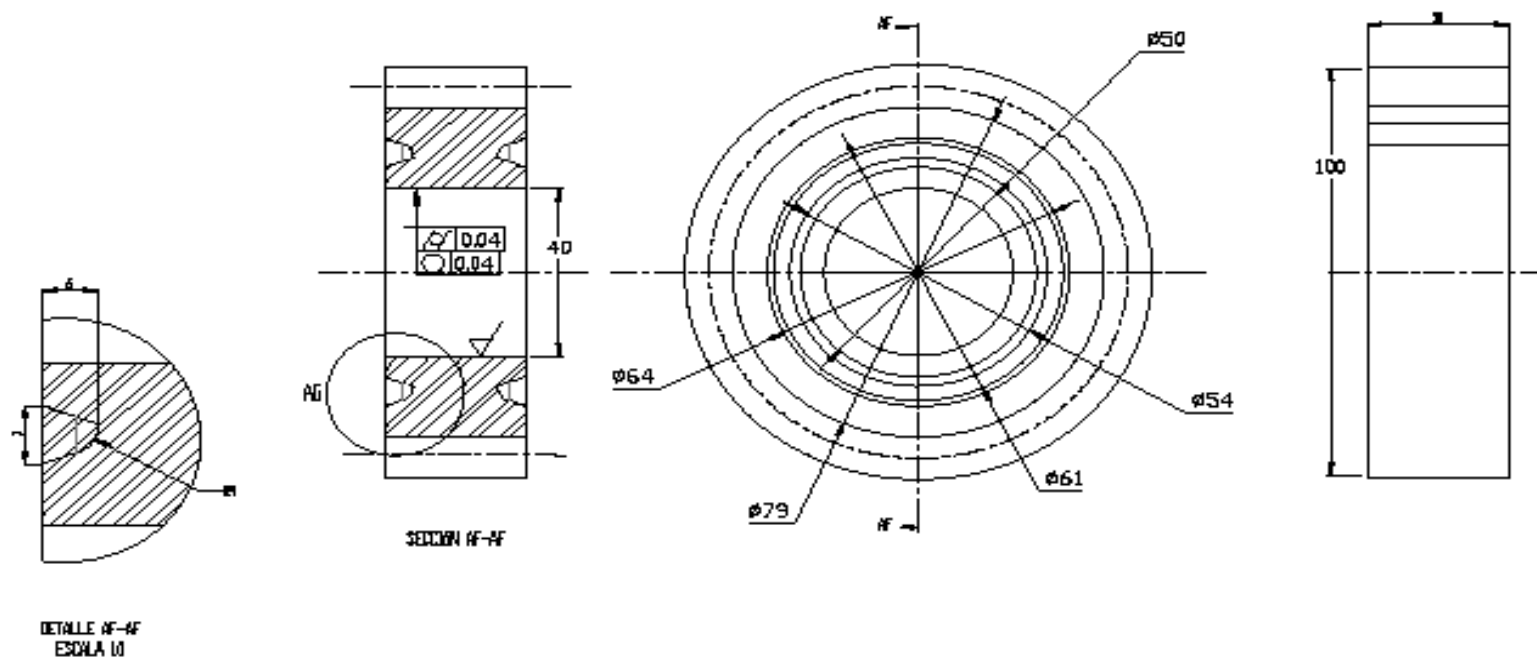


Datos rueda dentada

Módulo normal	4
Número de dientes	41
Paso normal	13
Ángulo de la hélice	20

Detalle 2

	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira Escuela de Tecnología Mecánica	
Dibujó	72502	Daniilo Pérez		Caja reductora de velocidades	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre			
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1				Referencia	ZF No. 1238 303 098
				Materia	
				Traeto. Técnico	



Datos	
Número de dientes	20
Modulo	5
Paso	16

	Código	Nombre	Fecha	Universidad Tecnológica de Pereira	
Dibujó	72502	Danilo Pérez		Escuela de Tecnología Mecánica	
	78904	Jhony Garcia			
Revisó	54895	Héctor Aguirre		Caja reductora de velocidades	
Unidad mm	Modelo caja reductora: 85 - 35/2		Plano No. 2 de 10	Pieza: Rueda dentada doble	
Escala 1:1			Referencia	ZF No. 1238 305 018	
			Material		
			Trat. térmico		

